



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **MEDICIÓN Y MODELAMIENTO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO DE CLAVEL EN INVERNADERO EN LA SABANA DE BOGOTÁ, USANDO LISÍMETROS ELECTRÓNICOS DE PESADA.**

**Sergio Andrés Lavao Pastrana**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2016

# **MEDICIÓN Y MODELAMIENTO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO DE CLAVEL EN INVERNADERO EN LA SABANA DE BOGOTÁ, USANDO LISÍMETROS ELECTRÓNICOS DE PESADA.**

**Sergio Andrés Lavao Pastrana**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA AGRÍCOLA

Perfil de Investigación

Director:

**M.SC. CARLOS A. GONZALEZ M.**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2016

Nota de aceptación:

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

Bogotá D.C., febrero de 2016.

## **Dedicado a:**

*A Dios por los dones recibidos, A mis padres Ernesto Lavao y Jenny Pastrana los cuales siempre me han dado su apoyo incondicional, a mis hermanos Diego y Jenny Paola por su comprensión y amor, A mi novia Mónica quien con su apoyo me animó a continuar y no desfallecer hasta lograr este objetivo.*

## **Agradecimientos**

El Autor presenta sus más sinceros agradecimientos al ingeniero Carlos Alberto González M., por todo el apoyo y paciencia que ha tenido durante el asesoramiento como director de esta Tesis.

Al Ingeniero Víctor Flórez R., por permitirme desarrollar este experimento dentro de las instalaciones del invernadero.

Al programa de Colciencias “Jóvenes Investigadores e Innovadores” por el apoyo y estímulo para el desarrollo de esta Tesis.

Al Ingeniero Germán Monsalve., por colaborar con sus conocimientos y experiencia en el campo hidrológico.

## Resumen

Con el objetivo de contribuir al Uso Racional del Recurso Hídrico en la sabana de Bogotá para cultivos de miniclavel, se ha generado un método de medición de la evapotranspiración (ETc) y el Coeficiente Cultivo, como dos variables con sustento científico a la hora de obtener los volúmenes y tiempos de riego, para un cultivo de miniclavel variedad Rony. Con el fin de medir estos coeficientes, se desarrolló un modelo físico para la obtención de la evapotranspiración usando lisímetros de pesada, aplicando un método numérico e implementándolo a través del desarrollo de un software (LisApp).

Conociendo la evapotranspiración del cultivo se calculó el Coeficiente de Cultivo ( $K_c$ ) de miniclavel para el primer pico de producción en sus diferentes etapas. Se obtienen como resultados de esta tesis: el Modelo Físico para la estimación de la ETc a partir de un equipo Lisímetro de pesada, Un Software para la aplicación del modelo físico y obtención de la ETc y el Coeficiente de Cultivo. Se midieron láminas de agua producto de la evapotranspiración real del orden de 2.6 a 3.3 mm, para una densidad de 14 plantas por lisímetro.

### Palabras clave:

Evapotranspiración, Lisímetro de Pesada, Fertirriego, Riego, lámina de agua.

## Abstract

With the aim of contributing to the Rational Use of Water Resources in the savannah of Bogotá for miniclavel crops, there has been a method of measuring evapotranspiration (ET) and Coefficient culture, as two variables with scientific support in decision-making volumes and run times for a variety Rony miniclavel culture. To measure these coefficients, a physical model for measuring evapotranspiration using weighing lysimeters, using a numerical method and implementing it through the development of a software (LisApp) was developed.

Knowing crop evapotranspiration Crop Coefficient ( $K_c$ ) of miniclavel was calculated for the first peak production at different stages. Are obtained as results of this thesis: the physical model to estimate the  $ET_c$  from a weighing lysimeter, A Software team to implement the physical model and obtaining the EVT and Crop Coefficient. Product sheets of water evapotranspiration of about 2.6 to 3.3 mm, for a density of 14 plants per lysimeter were measured.

**Keywords:** Evapotranspiration, Weighing Lysimeter, Fertigation, Irrigation, Sheet of water.

# Contenido

<b>Resumen</b>	<b>VII</b>
<b>Contenido</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>XII</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>15</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b>	<b>18</b>
<b>1 OBJETIVOS</b>	<b>22</b>
1.1 Objetivo General.	22
1.2 Objetivos Específicos.	22
<b>2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>23</b>
2.1 CULTIVO DE CLAVEL	23
2.2 SUSTRATOS	25
<b>2.2.1 SUSTRATOS UTILIZADOS EN COLOMBIA EN EL CULTIVO DE CLAVEL</b>	<b>25</b>
2.3 PROPIEDADES QUE HACEN DIFERENTE EL MOVIMIENTO DE AGUA EN EL SUELO Y EN EL SUSTRATO	29
<b>2.3.1 DENSIDAD REAL</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2 DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD</b>	<b>29</b>
<b>2.3.3 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA</b>	<b>30</b>
<b>2.3.4 CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD</b>	<b>31</b>
<b>2.3.5 EFECTOS DE LA INUNDACIÓN</b>	<b>35</b>
<b>2.3.6 AIREACIÓN DEL SISTEMA RADICAL</b>	<b>35</b>
<b>2.3.7 ESTABILIDAD FÍSICA</b>	<b>35</b>
<b>2.3.8 MODALIDAD DE RIEGO Y DRENAJE EN CULTIVOS SIN SUELO</b>	<b>35</b>
2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN	36
<b>2.4.1 ANTECEDENTES</b>	<b>36</b>
<b>2.4.2 EVAPORACIÓN</b>	<b>38</b>
<b>2.4.3 CONCEPTOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN</b>	<b>38</b>
2.5 TRANSPIRACIÓN.	40
2.6 MÉTODOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA EN INVERNADEROS	40
<b>2.6.1 MÉTODO AERODINÁMICO Y DE BALANCE DE ENERGÍA</b>	<b>43</b>
<b>2.6.2 ECUACIÓN DE PENMAN-MONTEITH (1977)</b>	<b>44</b>
<b>2.6.3 ECUACIÓN DE BALANCE HÍDRICO</b>	<b>44</b>
<b>2.6.4 ECUACIÓN DE TURC (1961)</b>	<b>45</b>



<b>2.6.5</b>	<b>ECUACIÓN HARGREAVES-SAMANI (1985).</b>	<b>45</b>
<b>2.6.6</b>	<b>ECUACIÓN GARCÍA Y LÓPEZ (1970)</b>	<b>46</b>
<b>2.6.7</b>	<b>ECUACIÓN DEL TANQUE DE EVAPORACIÓN</b>	<b>46</b>
2.7	COEFICIENTE DE CULTIVO ( $k_c$ )	48
2.8	ETAPAS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE CLAVEL.	49
<b>2.8.1</b>	<b>ETAPA INICIAL DEL CULTIVO DE CLAVEL.</b>	<b>50</b>
<b>2.8.2</b>	<b>ETAPA DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE CLAVEL.</b>	<b>50</b>
<b>2.8.3</b>	<b>ETAPA DE MEDIADOS DE TEMPORADA DEL CULTIVO DE CLAVEL.</b>	<b>50</b>
<b>2.8.4</b>	<b>ETAPA DE FINALES DE TEMPORADA DEL CULTIVO DE CLAVEL.</b>	<b>50</b>
<b>2.8.5</b>	<b>RESUMEN DE LAS ETÁPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE CLAVEL</b>	<b>51</b>
2.9	LOS LISÍMETROS	51
<b>2.9.1</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>51</b>
<b>2.9.2</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	<b>52</b>
<b>2.9.3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS LISIMETROS</b>	<b>52</b>
<b>2.9.4</b>	<b>TIPOS DE LISIMETROS</b>	<b>53</b>
<b>2.9.5</b>	<b>ALGUNAS APLICACIONES DE LOS LISÍMETROS</b>	<b>58</b>
<b>2.9.6</b>	<b>FACTORES QUE AFECTAN LA CONSTRUCCIÓN DE LISIMETROS</b>	<b>60</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>64</b>
3.1	MONTAJE DE INFRAESTRUCTURA	65
<b>3.1.1</b>	<b>OBRA DE INVERNADERO Y CAMAS DE CULTIVO</b>	<b>65</b>
<b>3.1.2</b>	<b>OBRAS DE ACOMETIDA ELÉCTRICA</b>	<b>66</b>
<b>3.1.3</b>	<b>INSTALACIÓN SENSORES CLIMÁTICOS E INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.</b>	<b>66</b>
<b>3.1.4</b>	<b>UBICACIÓN DE LISÍMETROS “UNlisitrón”</b>	<b>67</b>
<b>3.1.5</b>	<b>INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO</b>	<b>69</b>
<b>3.1.6</b>	<b>MATERIAL VEGETAL</b>	<b>70</b>
<b>3.1.7</b>	<b>FERTIRRIEGO</b>	<b>71</b>
3.2	DISEÑO EXPERIMENTAL	71
<b>3.2.1</b>	<b>MANEJO INTEGRADO DEL RIEGO</b>	<b>72</b>
<b>3.2.2</b>	<b>MONITOREO INTEGRADO DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN - MIRFE</b>	<b>73</b>
<b>3.2.3</b>	<b>MANEJO INTEGRADODE PLAGAS Y ENFERMEADES - MIPE</b>	<b>73</b>
<b>3.2.4</b>	<b>PINCH</b>	<b>73</b>
3.3	DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO	74
<b>3.3.1</b>	<b>EQUIPO LISÍMETRO DE PESADA “UNlisitrón”</b>	<b>74</b>
3.4	SISTEMA DE TOMA DE DATOS	76
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>86</b>
4.1	MEDICIÓN Y MODELAMIENTO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO ET <sub>c</sub> .	87
4.2	CALCULO EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET <sub>c</sub> )	91
4.3	MODELO DE REPETIBILIDAD DEL MODELO FÍSICO ENTRADA SALIDA DE AGUA APLICADA	94
4.4	EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO ET <sub>c</sub>	95
4.5	EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA ET <sub>o</sub>	96
4.6	CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CULTIVO DE CLAVEL VARIEDAD RONY ( $K_c$ )	100
<b>4.6.1</b>	<b>COEFICIENTE DE CULTIVO APLICANDO MÉTODO DE PENMAN - MONTEITH.</b>	<b>100</b>
<b>4.6.2</b>	<b>COEFICIENTE DE CULTIVO APLICANDO TANQUES EVAPORÍMETROS</b>	<b>101</b>

---

<b>4.6.3</b>	<b>COEFICIENTE DE CULTIVO APLICANDO MÉTODO DE GARCÍA-LÓPEZ.</b>	<b>102</b>
<b>4.6.4</b>	<b>COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE LOS <math>K_c</math></b>	<b>103</b>
4.7	USO DEL UNlisitrón	<b>105</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>110</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>112</b>

## Lista de figuras

Figura 2-1: Dos tipo de presentaciones de la cascarilla de arroz a) cruda b) mezclada con cascarilla de arroz quemada. Fuente: (Calderón y Cevallos, 2001) .....	25
Figura 2-2: Presentaciones de la fibra de coco Fuente: Gutiérrez (2014) .....	27
Figura 2-3: Curva característica de retención de humedad. Tomado de González, Tafur, Florez y Burbano (2011) .....	32
Figura 2-4: Proceso de evapotranspiración. (Elaboración Propia) .....	38
Figura 2-5: Esquematación de un estoma durante el proceso de transpiración (Allen et al, 2006) .....	40
Figura 2-6: Casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores. Fuente: Modificado de Allen et al., (2006) .....	47
Figura 2-7: Curva del Kc en función del desarrollo. Fuente: FAO 56 (Allen et al, 2006)	49
Figura 2-8: Evapotranspiración en plantas de rosa cv. Charlotte en condiciones de invernadero en la sabana de Bogotá. Modificado de Esmeral et al. (2011).	54
Figura 2-9: Lisímetro de Pesada. (Elaboración Propia).....	55
Figura 2-10: Cajas lisimétricas (Elaboración Propia) .....	56
Figura 2-11: Lisímetro Monolito (Elaboración Propia) .....	57
Figura 2-12: lisímetros complejos (Elaboración Propia) .....	57
Figura 2-13: Instalación del Lisímetro de pesada “UNlisitrón” en las camas donde se siembra clavel. ....	58
Figura 3-1: Ubicación del Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia - Ubicación de los lisímetros en el lote 5.....	64
Figura 3-2: Naves de invernadero tradicional con estructura metálica - Ubicación del invernadero en el lote 5 .....	65
Figura 3-3: Camas de Cultivo.....	66
Figura 3-4: Ubicación aleatoria de los lisímetros en el invernadero (Elaboración Propia)	67
Figura 3-5 Diseño de Sistema de Lisímetro. (Elaboración Propia) .....	68
Figura 3-6: Montaje de lisímetro en invernadero.....	68
Figura 3-7: Bomba que impulsa el agua del tanque de reserva.....	69
Figura 3-8: Controlador de riego .....	69
Figura 3-9: Bomba que impulsa el agua desde el reservorio a cada uno de los equipos de bombeo que riegan las camas respectivas. ....	70
Figura 3-10: Material Vegetal .....	70
Figura 3-11: Densidad de 14 plantas por lisímetro.....	72
Figura 3-12: Balanza AD0 para 60 Kg .....	76
Figura 3-13: Equipo de medición del Sistema Lisímetro “UNlisitrón” .....	77

Figura 3-14: Descripción Gráfica mediante diagrama de bloques alternos del funcionamiento del lisímetro “UNlisitrón” .....	78
Figura 3-15: Radio transmisor y receptor con ADC 10 Bits Digitales I/O 2.4GHz Alcance (50 metros) .....	79
Figura 3-16: Software de Configuración X-CTU .....	79
Figura 3-17: Módulo Receptor con Sistema de Cómputo, servidor WEB y conexión a Internet .....	80
Figura 3-18: Sistema de Cómputo Embebido Beaglebone White .....	80
Figura 3-19: Sistema Lisímetro completo para la toma de datos en Marengo .....	81
Figura 3-20: Interfaz acceso remoto a medición. ....	82
Figura 3-21: Diagrama de flujo de datos Software LisApp.....	84
Figura 3-22: Interfaz principal de LisApp.....	85
Figura 4-1: Esquema del sistema analizado.....	88
Figura 4-2: Comportamiento del contenedor del Lixiviado. Fuente: González C et al., (2015b) .....	90
Figura 4-3: Comportamiento del contenedor de la planta y sustrato. Fuente: González C. , et al., (2015b) .....	90
Figura 4-4: Comportamiento del peso de la Planta y del Lixiviado, día 20 de Abril 2014	91
Figura 4-5: Comportamiento de la Evapotranspiración con un valor 2,45 mm, día 20 de Abril de 2014.....	93
Figura 4-6: Modelo de repetibilidad .....	95
Figura 4-7: Evapotranspiración real del Cultivo ETc.....	96
Figura 4-8: Comportamiento de la evapotranspiración de referencia calculada con el método de Turc (1961), el método de García-López (1970), el método de Hargreaves-Samani (1985), método de Penman – Monteith (1977) y Tanque Evaporímetro. ....	99
Figura 4-9: Comparación de Kc hasta el primer pico de producción con la metodología de Penman - Monteith.....	100
Figura 4-10: Comparación de Kc hasta el primer pico utilizando la metodología de tanques evaporímetros .....	101
Figura 4-11: Comparación de Kc hasta el primer pico de producción con la metodología de García - López .....	102
Figura 6-1: Superficie de Comportamiento del Lisímetro 1 de la finca de Marengo para el 17 Marzo de 2014 .....	128
Figura 6-2: Comportamiento del Lisímetro 1 de la finca de Marengo para el 17 Marzo de 2014.....	128
Figura 6-3: Gráfica de la ET=4,08 mm para el 17 Marzo de 2014. ....	129
Figura 6-4: Superficie de Comportamiento del Lisímetro 1 de la finca de Marengo para el 17 Marzo de 2014. ....	130
Figura 6-5: Comportamiento del Lisímetro 2 de la finca de Marengo para el 8 de Enero de 2014.....	130
Figura 6-6: Gráfica de la ET= 3,36 mm el 8 de Enero de 2014. ....	131

Figura 6-7: Superficie de Comportamiento del Lisímetro 2 de la finca de Marengo para el 4 de Junio de 2014. ....	131
Figura 6-8: Comportamiento del Lisímetro 1 de la finca de Marengo para el 4 de Junio de 2014. ....	132
Figura 6-9: Gráfica de la ET= 3,58mm el 8 de Enero de 2014. ....	132

## Lista de tablas

Tabla 2-1: Propiedades de la cascarilla de arroz, modificado de (Quintero, González, y Guzmán, 2011) .....	26
Tabla 2-2: Propiedades físicas de la fibra de coco, modificado de (Quintero et al, 2011). .....	28
Tabla 2-3: Densidad aparente y porosidad del suelo.....	30
Tabla 2-4: Análisis comparativo entre suelo y sustrato.....	30
Tabla 2-5: Conductividad hidráulica a saturación de algunos sustratos de cultivo, modificado de (Quintero et al. 2011) .....	31
Tabla 2-6: Clasificación de la Conductividad Hidráulica para suelos saturados, modificado de (Stanley et al, 2011) .....	31
Tabla 2-7 : Capacidad de retención de agua - tomado de Calderón y Cevallos (2001)...	33
Tabla 2-8 : Correspondencia aproximada de capacidad de campo y punto de marchitez permanente en suelos y sustratos .....	34
Tabla 2-9: Parámetros requeridos por las ecuaciones de evapotranspiración de referencia.....	42
Tabla 2-10: Coeficiente del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A para diversas localizaciones y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa (FAO 24 -Doorenbos y Pruitt, 1977) .....	47
Tabla 2-11: Etapas fenológicas del cultivo de Clavel en el primer pico.....	51
Tabla 3-1 Fórmula fertirriego comercial .....	71
Tabla 3-2: Calibración por Sistema de Lisímetro.....	75
Tabla 4-1: Variables meteorológicas medidas, registradas y periodo de tiempo de información disponible para cada una de ellas.....	86
Tabla 4-2: Fechas consideradas por etapa fenológica del cultivo en el proyecto.....	87
Tabla 4-3: Ejemplo de la ETc obtenida por LisApp para 10 días. ....	92
Tabla 4-4: Promedio por etapas fenológicas de Evapotranspiración en Cultivo para el primer pico de producción.....	96
Tabla 4-5: Promedio de los parámetros climatológicos registrados en marengo para las variables de humedad relativa (HR) y temperatura (T) y Radiación Solar, en las etapas fenológicas del cultivo .....	97
Tabla 4-6: Resultado de la evapotranspiración de referencia por etapas fenológicas aplicando el método de García y López (1970), el método de Turc (1961), el método de Hargreaves-Samani (1985), el método de Penman – Monteith (1977). .....	98

Tabla 4-7: Promedio por etapas de variables requeridas para el método de los tanques evaporímetros. ....	99
Tabla 4-9: Resumen de los coeficientes obtenidos .....	103
Tabla 4-10: Tabla de correlación para los Kc1 y Kc2. ....	103
Tabla 4-11: Tabla de correlación para los Kc1 y Kc3. ....	104
Tabla 4-12: Tabla de correlación para los Kc2 y Kc3. ....	104
Tabla 4-13: Consumo de agua (L.m <sup>-2</sup> de área cubierta), en un periodo de doce meses en el cultivo de miniclavel cv. Rony en el ensayo semicomercial, ubicado en el CAM. ....	106
Tabla 4-14: Ahorro comparativo .....	107
Tabla 4-15: Ahorro de agua de riego utilizando el equipo lisímetro de pesada en el cultivo de miniclavel cv. Rony en el ensayo semicomercial, ubicado en el CAM..	107
Tabla 4-16: Ahorro de fertilizante (Agrofeed Agruna) y regulador utilizando el equipo lisímetro de pesada instalado en el cultivo de miniclavel cv. Rony del ensayo semicomercial ubicado en CAM. ....	108
Tabla 4-17: Producción total de tallos por m <sup>2</sup> meses enero a agosto .....	109
Tabla 4-18: Producción total de tallos por m <sup>2</sup> en el primer y segundo pico.....	109
Tabla 6-1: Muestra los valores de la Evapotranspiración (ETc) que se obtuvieron para las fechas tomadas, al lado hay una Observación de la Medición que se hizo sobre cada Lisímetro. ....	121
Tabla 6-2: Mediciones registradas para el mes de Agosto de 2013 por la estación meteorológica de Tibaitatá .....	153
Tabla 6-3: Mediciones registradas para el mes de Septiembre de 2013 por la estación meteorológica de Tibaitatá .....	154
Tabla 6-4: Mediciones registradas para el mes de Octubre de 2013 por la estación meteorológica de Tibaitatá .....	155
Tabla 6-5: Mediciones registradas para el mes de Noviembre de 2013 por la estación meteorológica de Tibaitatá .....	156
Tabla 6-6: Mediciones registradas para el mes de Diciembre de 2013 por la estación meteorológica de Tibaitatá .....	157
Tabla 6-7: Mediciones registradas para el mes de Enero de 2014 por la estación meteorológica de Tibaitatá .....	158
Tabla 6-8: Mediciones registradas para el mes de Agosto de en la finca de Marengo. .	163
Tabla 6-9: Calculo de coeficiente de cultivo al utilizar la ETo obtenida por los métodos de Garcia-Lopez, Hargreaves, Turc y Penman para Agosto de 2013 .....	165
Tabla 6-10: Mediciones registradas para el mes de Septiembre de 2013 en la finca de Marengo .....	166
Tabla 6-11: Calculo de coeficiente de cultivo al utilizar la ETo obtenida por el método de Garcia-Lopez, Turc, Hargreaves y Penman para Septiembre de 2013. ....	168
Tabla 6-12: Mediciones registradas para el mes de Octubre de 2013 en la finca de Marengo. ....	169

---

Tabla 6-13: Calculo de coeficiente de cultivo al utilizar la ETo obtenida por el método de Garcia-Lopez, Hargreaves, Turc y Penman para Octubre de 2013.....	171
Tabla 6-14: Mediciones registradas para el mes de Noviembre de 2013 en la finca de Marengo .....	173
Tabla 6-15: Calculo de coeficiente de cultivo por método de Garcia-Lopez, Hargreaves y Turc para Noviembre .....	174
Tabla 6-16: Mediciones registradas para el mes de Diciembre de 2013 en la Finca de Marengo. ....	176
Tabla 6-17: Calculo de coeficiente de cultivo al utilizar la Eto obtenida por método de Garcia-Lopez, Turc, Hargreaves y Penman para Diciembre .....	178
Tabla 6-18: Mediciones registradas para el mes de Enero de 2014 por la finca de Marengo. ....	179
Tabla 6-19: Calculo de coeficiente de cultivo al utilizar la Eto obtenida por método de Garcia-Lopez, Hargreaves, Turc y Penman para Enero de 2014 .....	180
Tabla 6-20: Registro Volumétricos de Consumo en Agua .....	182
Tabla 6-21: Producción total de tallos florales de miniclavel cv. Rony en el ensayo semicomercial ubicado en el CAM. ....	196



## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	$m^2$	$\iint dx dy$
$C_p$	Calor específico del aire,.	$MJ/kg/^\circ C$	$C_p = 0.001013$
$P$	Densidad	$g/ml$	$\frac{M}{V}$
D	Drenaje	$mm/día$	DF
ECM	Error cuadrático medio		
ET	Evapotranspiración,	$mm/día$	DF
ETo	Evapotranspiración del cultivo de referencia	$mm/día$	
ETc	Evapotranspiración real	$mm/día$	
H	Calor sensible		
$HR_{med}$	Humedad relativa media	%	DF
$HR_{mim}$	Humedad relativa mínima	%	df
I	Índice de calor anual.		$i_j = \left(\frac{T_{med}}{5}\right)^{1.514}$
$k_c$	Coefficiente de cultivo	1	
$k_{cin}$	Coefficiente de cultivo, fase inicial	1	DF
$k_{cint}$	Coefficiente de cultivo, fase intermedia	1	DF
$k_{cfin}$	Coefficiente de cultivo, fase final	1	DF
Kp	Coefficiente del tanque de evapotranspiración	1	
L	Lámina de agua aplicada	$mm/día$	DF
Pcv	Acumulación de Biomasa	g	DF
$r_a$	Resistencia aerodinámica.	$s/m$	$r_a = \frac{665}{1 + 0.54 * U_2}$
$r_s$	Resistencia superficial.	$s/m$	$r_s = \frac{r_l}{IAF_{activo}}$
$r_R$	Resistencia de radiación.	$s/m$	$r_R = \frac{\rho C_p}{4 \sigma (T + 273.15)^3}$
R	Lámina de agua aplicada,. La precipitación sería otra de las componentes de entrada, en el caso que el cultivo sea descubierto	$mm/día$	DF
$R_a$	Radiación extraterrestre	$MJ/m^2/día$	DF
$R_n$	Radiación solar neta.	$MJ/m^2/día$	$R_{ns} = 0.77 * R_s$
$R_s$	Radiación solar medida o calculada,	$MJ/m^2/día$	DF
T	Temperatura del aire.	$^\circ C$	DF
$T_{max,K}$	Temperatura máxima k	$^\circ C$	$Tmax(^{\circ}C) + 273.16$
$T_{min,K}$	Temperatura mínima k	$^\circ C$	$Tmin(^{\circ}C) + 273.16$
$T_{med}$	Temperatura media del aire,		

---

<b>Símbolo</b>	<b>Término</b>	<b>Unidad SI</b>	<b>Definición</b>
Tmax	Temperatura máxima del aire, expresada en°C [°C].		DF
Tmin	Temperatura mínima del aire, expresada en°C [°C].		DF
u <sub>2</sub>	Velocidad del viento a 2 m de altura	m/s	DF

## Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
CAQ	Cascarilla de arroz quemada
FC	Fibra de coco
ET	Evapotranspiración
ET <sub>o</sub>	Evapotranspiración de Referencia
E <sub>c</sub>	Evapotranspiración de Cultivo
RMSE	Raíz del error cuadrático medio
SSE	Suma de los cuadrados del error

## Introducción

De acuerdo con el Centro Internacional de Comercio (ITC, 2015), desde el año 2010, Colombia se constituye como el segundo productor de clavel a nivel mundial después de Holanda, alcanzando la cifra de exportación de US\$600 millones/año, ocupando el 16 % de las exportaciones del mercado internacional y superando en volumen de producción a países como Ecuador, Kenia y Bélgica, La participación de estos países en el mercado internacional del clavel es del 9 %, 8%, y 6%, respectivamente.

En la última década el sector floricultor ha registrado incrementos en los volúmenes de exportación e incrementos moderados en la productividad, sin embargo no se ven reflejados en aumentos en la competitividad, dado el crecimiento en los costos de los insumos.

Teniendo en cuenta que el recurso hídrico es uno de los principales insumos utilizados en el sector florícola y en general para la agricultura que consume un 70% del agua fresca según Gleick, (2013) el impacto ambiental de este consumo repercute tanto en el uso como en la disposición final del agua contaminada por plaguicidas. Este proyecto desarrollará un método de estimación de evapotranspiración de agua en clavel, buscando contribuir al uso racional y eficiente de agua en la producción de Clavel variedad Rony, que impacte positivamente a nivel ambiental y económico para los productores de mini clavel en el país.

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2010) En Colombia el miniclavel, conocido con el nombre científico *Dianthus Caryophyllus*, está sembrado en un área de 361 ha, los volúmenes de riego pueden alcanzar los 150 litros por día en una cama de 30 m x 0,75 m (Dimensiones comerciales). La determinación precisa del agua evapotranspirada es un requisito necesario para tomar decisiones óptimas de riego, para lograr esta medida, es necesario el desarrollo de un sistema que permita determinar el consumo de agua por evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) además de estimar apropiadamente el coeficiente de cultivo como una estrategia para cuantificar las necesidades reales de agua que tienen las plantas. El sistema utilizado para realizar esta medida es el Lisímetro de pesada; el cual es un instrumento que adicionalmente podría ser usado usados con diferentes propósitos, tales como caracterizar el aporte del agua subterránea como lo expresa Soppe y Ayars (2003), conocer el porcentaje de lixiviado para un cultivo en tiempo real de acuerdo a las investigaciones realizadas por Luo y Sophocleous (2010), o la estimación de la evapotranspiración real del cultivo (ET<sub>c</sub>) como en este caso.

Para el trabajo de la presente tesis de maestría se realizó la instalación de tres lisímetros de pesada en un invernadero del centro agropecuario marengo de la Universidad Nacional de Colombia a partir del registro de masa obtenido para el contenedor y para el sistema de drenaje

de unas plantas de miniclavel, se determinó de una forma precisa la evapotranspiración real del cultivo y el Coeficiente de Cultivo.

El desarrollo del proyecto de estimación de la Evapotranspiración y el Coeficiente de cultivo se lleva a cabo en el Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia.

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 Objetivo General.

Medir y modelar el comportamiento de la evapotranspiración real del cultivo de clavel en invernadero en la sabana de Bogotá, usando lisímetros de pesada.

## 1.2 Objetivos Específicos.

- Realizar un montaje experimental que permita controlar y medir las variables involucradas en el proceso de evapotranspiración.
- Diseñar un software en un entorno de desarrollo de fácil consecución (Matlab) que permita el monitoreo de la evapotranspiración de la planta testigo en tiempo real, realice curvas de ET y permita acciones de control sobre el riego.
- Establecer el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) del clavel a lo largo de su desarrollo fisiológico desde la siembra hasta el primer pico de producción.

---

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CULTIVO DE CLAVEL

Según Pizano (2000), la producción comercial de clavel se desarrollaba principalmente en Holanda y los países Mediterráneos, pero a partir de los años 70 y 80 esta se trasladó a las montañas tropicales pasando a ocupar un papel protagónico en Colombia y Kenia.

Según la taxonomía del clavel existen dos tipos de clavel que son el estándar y el clavel miniatura. De acuerdo a Pérez (2003) la clasificación botánica del clavel es la siguiente: Reino: Plantae Phylum: Angiospermas, Clase: Dicotiledóneas, Subclase: Archiclamideas, Orden: Centrospermales, Familia: Caryophyllaceae, Género: Dianthus

Barbosa y Perilla (1993), señalan que para el comercio internacional y las exportaciones comerciales del cultivo de clavel, este producto se produce bajo cubierta, ya que de esta forma se obtiene una calidad muy superior a la producida en campo abierto.

El clavel presenta una morfología perenne de base leñosa con tallos de hasta 80 cm de altura, las hojas son lineales, planas y blandas, acuminadas y glaucas, con la base envainada. Las flores se encuentran en grupos de 1-5, muy olorosas. El epicáliz tiene 4-6 brácteas anchas, abruptamente acuminadas, mucho más cortas que el cáliz. El Cáliz mide de 2.5-3 cm de longitud, con dientes triangulares. Los pétalos son dentados de forma irregular, no barbados, de 1-1.5 cm de longitud, de color rosado-púrpura en las especies silvestres, Linares (2004).

Según las FAO (2002), Arreaza (2000) y Vélez (2012) el cultivo de Clavel por su origen mediterráneo, es una planta fotoperiódica de día largo y termoperiódica; por lo tanto, el factor más determinante sobre el ritmo de crecimiento y de floración a lo largo del año es la luz, de tal modo que el fotoperiodo y la intensidad luminosa van a influir tanto en la longitud de tallo, como sobre la ramificación y sobre el ritmo de crecimiento. Esto conlleva a que la producción de yemas florales está en función de la intensidad luz y longitud del día siempre y cuando no esté acompañado de altas temperaturas.

De acuerdo a Vélez (2012) la tasa de desarrollo del botón floral está altamente correlacionada con la temperatura, cuanto mayor es el incremento de la temperatura más rápidamente el botón va a florecer. Según la FAO (2002) la temperatura adecuada para el crecimiento vegetativo y la floración debe ser mínimo 8°C y máximo 25°C; y aunque las plantas de clavel resisten temperaturas bajas hasta los -4°C, las heladas pueden afectarle en distintos aspectos por ejemplo, como lo menciona Salinger (1991), estas producen la caída de las flores y modifican el color de las mismas, sin embargo, a temperaturas elevadas la flor es más pequeña ya que hay menos pétalos y los tallos pueden ser más débiles, mientras que flores que se desarrollan a temperaturas más frías tendrán más pétalos y mayor tendencia al rajado del cáliz.

El porcentaje de humedad relativa óptimo para el desarrollo del cultivo oscila entre el 60-80%. Un exceso de humedad favorece el desarrollo de enfermedades criptogámicas como alternaria, botrytis, heterosporiumy roya, entre otras, Verdugo (2007).

Según Florez y Nieto (2011), se han estudiado numerosas densidades de siembra, comparando la producción total de flores y la calidad con rangos entre 25 y 180 plantas  $m^{-2}$ , cada planta producirá 4 a 6 tallos florales a partir de un *pinch* (despunte) sencillo, encontrando una densidad de siembra ideal entre 35 y 45 plantas  $m^{-2}$  para un cultivo a dos años, obteniendo como máxima productividad alrededor de 200 tallos florales por  $m^{-2}$  en cualquier época.

El denominado *pinch o despunte*, se realiza cuando la planta tiene entre 4 y 6 semanas de establecida (en la sabana de Bogotá para el cultivo de Clavel el pinch se realiza en promedio en la 5 semana), y los brotes laterales de las hojas inferiores son de unos 5 cm de largo, Arreaza P. (2000). Esto se presenta durante su desarrollo inicial ya que las plantas de clavel presentan dominancia apical, lo que lleva a la necesidad de un despunte Usualmente se reportan tres tipos de *pinch* (*pinch* sencillo, *pinch* medio y doble *pinch*), cada uno con influencia diferente en el momento de la floración, y en la producción y calidad de las flores producidas, Florez y Nieto (2011),

Luego del *pinch* las plantas desarrollan brotes laterales y pasan a un periodo de desarrollo vegetativo, seguido de un periodo de reproductividad con elongación de tallos y desarrollo de un botón floral, este periodo termina con la floración casi simultánea de los brotes, lo que constituye la primera cosecha (Arreaza (2000), Arévalo, Ibarra y Florez (2007)). Una vez cortadas las flores, las plantas entran de nuevo a una etapa vegetativa, en la cual se desarrollan brotes laterales por debajo de los puntos de corte; esta etapa es menos uniforme que la primera, se da nuevamente un periodo de crecimiento vegetativo, elongación y desarrollo de botones florales, hasta culminar una segunda floración, lo que se denomina segunda cosecha, la cual tiene mayor duración y se presenta de forma escalonada.

Respecto al agua de riego el factor que determina su calidad es la salinidad y cuando no es manejada correctamente, se constituye en un importante factor de salinización del suelo con los problemas que ello conlleva, fototoxicidad, deficiencias o excesos de nutrientes Verdugo (2007). El agua ideal para el riego del clavel es aquella cuya conductividad eléctrica (C.E.) máxima es de 1,5 dS/m. Entre 2 y 3 dS/m, la producción se ve afectada y una C.E. mayor a 3 dS/m puede generar problemas de toxicidad. Para el cultivo del clavel, será necesario disponer de al menos 0,1 L/s/ha, ya que las necesidades de agua son aproximadamente de 1.000 - 1.700 L/m<sup>2</sup>/año.

## 2.2 SUSTRATOS

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo *in situ*, que encerrado en un contenedor sirve de soporte físico para el cultivo de una planta, y que puede o no aportar nutrientes a la planta, los tipos de sustratos se pueden generalizar como:

- Sintéticos (poliestireno, poliuretano, espuma etc.)
- Minerales (Arena, grava, perlita, rocas volcánicas, etc)
- Orgánicos (Turba, cascarilla de arroz, fibra de coco, residuos de madera, basuras compostadas, etc.)

El sustrato tiene como función principal contener el agua y los nutrientes que la planta necesite (Abad, Noguera y Carrion (2005), Calderón y Cevallos (2001)). Su selección depende de las características del cultivo a implantar, de la infraestructura a construir y de las variables ambientales. Además, se deben tener en cuenta las prácticas culturales que inciden en el manejo del sustrato, de tal forma que se logre un buen desempeño de éste, Alarcon (2000).

La Figura 2-1 muestra la cascarilla de arroz cruda y la combinación entre cascarilla de arroz cruda y quemada que junto con la fibra de coco y combinaciones en diferentes porcentajes son los más utilizados en Colombia.

**Figura 2-1: Dos tipo de presentaciones de la cascarilla de arroz a) cruda b) mezclada con cascarilla de arroz quemada. Fuente: (Calderón y Cevallos, 2001)**



### 2.2.1 SUSTRATOS UTILIZADOS EN COLOMBIA EN EL CULTIVO DE CLAVEL

#### 2.2.1.1 Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera, que se produce en las zonas arroceras y que ofrece buenas propiedades para ser usada como sustrato en sistemas de siembra sin suelo. La cascarilla de arroz se utiliza directamente o quemada. Yahya, Anieza, Rosli y Ahmad (2009), Guerrini y Trigueiro (2004) y Papafotiou et al., (2001), señalan que la cascarilla de arroz tostada ó quemada es considerada un buen material en su uso como sustrato. La cascarilla cruda o quemada puede ser utilizada sola o mezclada con otros subproductos o compost,



especialmente derivados de la degradación y conformación de los subproductos del mismo proceso de producción de flor de corte.

Según Quintero, González y Flórez, (2006), es el sustrato más utilizado en Colombia, debido a que es menos costoso comparado con sustratos tales como turba, vermiculita, fibra de coco y arcillas expandidas, entre otros. Su principal costo es el transporte. La Tabla 2-1 presenta algunos valores de las propiedades físicas del sustrato mencionado, en condiciones de cultivos de flores de Colombia.

**Tabla 2-1: Propiedades de la cascarilla de arroz, modificado de (Quintero, González, y Guzmán, 2011)**

PARÁMETRO	Calderón (2003)	Meneses (2004a)	Meneses (2004b)	Quintero y González (2004)	Ríos (2008)	Quintero et al (2011)
Densidad Real (g.cm <sup>-3</sup> )	-	-	1.27	1.33	1.66	-
Densidad Aparente (g.cm <sup>-3</sup> )	-	-	0.10	0.13	0.13	-
Porosidad (% vol)	-	-	91.42	89.7	92.2	-
Agua Fácilmente Disponible (% vol)	5-15	2.57	-	3-7	-	-
Conductividad Hidráulica de sustrato saturado (m.día <sup>-3</sup> )	-	-	-	-	-	60

En Colombia se utiliza la cascarilla de diferentes maneras: cruda, semitostada, con diferentes porcentajes de tostado. También se puede reutilizar la cascarilla tostada que ya ha salido de las camas de cultivo, tras un proceso de esterilización. Adicionalmente existen métodos que buscan mejorar las propiedades de este material, en Corea del Sur se obtiene cascarilla expandida al someter a la misma a alta temperatura y presión para hacer que explote o se expanda Quintero González, y Guzmán (2011).

De acuerdo a Martínez y Roca, (2011) y Quintero et al., (2011), entre las principales ventajas del sustrato descrito anteriormente se encuentran, su bajo costo, una tasa de descomposición lenta, buen drenaje y alta aireación. La retención de humedad en este sustrato aumenta a medida que envejece por cuanto las partículas finas empiezan a sedimentarse y el sustrato sufre un proceso de compactación.

Los mismos autores señalan que entre las desventajas del sustrato se encuentran que requiere fermentación y lavado previo, el costo del transporte es elevado y la baja retención de humedad del mismo.

### 2.2.1.2 Fibra de Coco

El segundo sustrato más usado en Colombia para el cultivo de clavel bajo invernadero según Arias (2003), es la fibra de coco (FC) (ver Figura 2-2), la cual comenzó a utilizarse desde 2003 como un sustrato comercial para el cultivo de plantas hortícolas y ornamentales.

**Figura 2-2: Presentaciones de la fibra de coco Fuente: Gutiérrez (2014)**



Según Martínez y Roca (2011), la fibra de coco es un material de desecho de la industria cocotera, compuesto por la parte desechable de los residuos del mesocarpio después de aprovechar las fibras largas. A pesar de ser un residuo orgánico y concebirse como un sustituto de la turba, se comporta de modo bastante diferente a esta.

De acuerdo con Noguera, Abad, Puchades y Maquiera (2003), La producción de coco es renovable por ser un cultivo anual. Cuando la raíz empieza a desarrollar en el interior del volumen poroso de la fibra de coco. La planta con su vigor y su alimentación equilibrada es más resistente a accidentes o enfermedades del entorno. El sustrato de fibra de coco se puede utilizar entre tres y ocho años, según el manejo y las condiciones a que ha sido sometido.

Cuando se decide eliminarlo, presenta unas características ideales para mejorar las características físicas del suelo por ser un material orgánico. Por ello, es totalmente ecológico desde su producción, utilización y posterior reutilización, las principales propiedades físicas que posee la fibra de coco se presentan en la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2: Propiedades físicas de la fibra de coco, modificado de (Quintero et al, 2011).**

AUTOR	Densidad Real (g.cm <sup>-3</sup> )	Densidad Aparente (g.cm <sup>-3</sup> )	Porosidad (% vol)	Agua Fácilmente Disponible (% vol)	Conductividad Hidráulica (m.dia <sup>-1</sup> )
Arias (2003)	0.51	0.05	90.3	-	-
Galán (2003)	1.03	0.13	87.42	-	-
Calderón (2003)	-	-	-	20-30	-
Quintero y González (2004)	-	-	-	9.5	-
Ríos (2008)	1.55	0.13	94.1	-	-
Quintero et al (2009)	0.78	0.13	82.4	-	47-80

La fibra de coco presenta una buena capacidad de amortiguamiento térmico, superior a otros sustratos como perlita o lana de roca. Esta propiedad resulta útil para sustratos que se utilizan en ambientes con temperaturas extremas, además, presenta una alta capacidad de retención hídrica, lo que es útil para reducir la frecuencia de riego, tiene una densidad aparente baja, lo que favorece su adecuación y manejo, sobre todo si se compara con escoria de carbón, Quintero et al., (2011). La FC tiene una durabilidad, que puede alcanzar hasta ocho años, sin embargo, en Colombia resulta costosa porque hay que importarla o transportarla desde las zonas costeras donde existen plantaciones de coco.

De acuerdo con Martínez y Roca (2011) y Quintero et al, (2011), entre las principales ventajas del sustrato se encuentran baja tasa de descomposición, alta capacidad de amortiguación térmica, alta capacidad de retención de humedad y larga durabilidad, si se maneja adecuadamente puede durar hasta ocho años.

Según Noguera et al., (2003), la fibra de coco es una alternativa muy buena o un complemento de la turba, ya que con una granulometría adecuada tiene muy buenas características físicas.

Martínez y Roca (2011) enumeran entre sus desventajas que el sustrato debe ser lavado en el sitio de producción ya que de lo contrario su contenido salino puede ser limitante para el cultivo así como su elevado costo de transporte.

---

## **2.3 PROPIEDADES QUE HACEN DIFERENTE EL MOVIMIENTO DE AGUA EN EL SUELO Y EN EL SUSTRATO**

La forma en la que el movimiento se va a dar dentro del sustrato, si es horizontal o vertical, y el recorrido que el agua debe hacer antes de llegar a las raíces y finalmente salir por el drenaje, depende del tipo de recipiente en el que está contenido y del sustrato utilizado, es importante mencionar que el movimiento de agua es diferente en suelo y en sustrato, ya que esto depende de las propiedades físicas de los mismos, a continuación se describirán algunas de las propiedades de los sustratos y del suelo, que hacen diferente el movimiento de agua en los mismos.

### **2.3.1 DENSIDAD REAL**

La densidad real corresponde a la relación de la masa con respecto al volumen del sustrato sin considerar los espacios porosos. Según Quintero et al., (2011) la densidad real es un valor propio de cada material y no depende del grado de compactación ni del tamaño de sus partículas; sin embargo, es interesante relacionar el efecto de la presencia de poros ocluidos, esto es, poros dentro de las partículas del material que conforman el sustrato, como es el caso de las cascarillas de arroz, con la porosidad, en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2 se presentaron los valores de densidad real de los sustratos más utilizados en Colombia.

### **2.3.2 DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD**

De acuerdo a Abad et al., (2005). Es la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato seco, es decir incluyendo el espacio poroso entre las partículas. Según Quintero et al., (2011) la densidad aparente es importante desde el punto de vista de manipulación de los sustratos, ya que éstos se transportan y se manipulan previamente a su disposición en campo, por lo cual se debe tener en cuenta su peso y su volumen, en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2 se presentaron los valores de densidad aparente de los sustratos más utilizados en Colombia.

Por otro lado, la porosidad de los medios de cultivo es un factor determinante para la aireación de las raíces y la disponibilidad de agua para la planta. En este sentido, se debe tener en cuenta, además de la porosidad total, el tamaño de los poros que conforman dicha porosidad.

Según Quintero et al., (2011) para el caso de los sustratos, la porosidad puede llegar a valores de 95% o superiores, recomendándose un mínimo de 85% con tamaños de poro entre 30 y 300  $\mu\text{m}$ . La porosidad total se calcula con base en la densidad real y la densidad aparente, en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2 se presentaron los valores de porosidad de los sustratos más utilizados en Colombia.

Por otra parte y con el fin de realizar un análisis comparativo de los valores de densidad aparente y porosidad entre el suelo y los sustratos, en la Tabla 2-3 se relacionan las características del suelo.

**Tabla 2-3: Densidad aparente y porosidad del suelo**

Tipo de suelo	Densidad Aparente (g.cm <sup>-3</sup> )	Porosidad (% vol)
Suelos de origen volcánico	0.25 - 0.80	
Suelos de textura Fina	0.80 - 1.40	40 - 60
Suelos de textura Media	1.00 - 1.50	
Suelos de textura Gruesa	1.20 - 1.70	35 - 50

Con base en lo anterior y de acuerdo con lo establecido y presentado en la Tabla 2-1 y Tabla 2-2 se tiene que:

**Tabla 2-4: Análisis comparativo entre suelo y sustrato**

Tipo de suelo	Densidad Aparente (g.cm <sup>-3</sup> )	Porosidad (% vol)
Suelo	0.80 - 1.70	35.0 - 60.0
Fibra de coco	0.05 - 0.13	82.4 - 94.1
Cascarilla de arroz	0.10 - 0.13	89.7 - 92.2

Finalmente, de la Tabla 2-4 se deduce que la porosidad es mucho mayor en los sustratos que en los suelos, por el contrario, la densidad aparente es mayor en los suelos que en los sustratos.

### 2.3.3 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

De acuerdo a Quintero et al., (2011) la conductividad hidráulica es una de las propiedades de suelos o sustratos más complejas, debido a que se relaciona directamente con su contenido de humedad. La conductividad hidráulica de un medio caracteriza el movimiento en cada una de las direcciones que puede tomar un fluido en un medio poroso. A la fecha es poca la información que se tiene de funciones de conductividad hidráulica para los sustratos utilizados en el país, debido principalmente a la falta de estandarización de un sistema de medición en laboratorio, sin embargo en la Tabla 2-5 se presentan algunos valores de conductividad hidráulica en sustratos, mientras que en la Tabla 2-6 se muestran los valores de conductividad hidráulica en suelos saturados.

**Tabla 2-5: Conductividad hidráulica a saturación de algunos sustratos de cultivo, modificado de (Quintero et al. 2011)**

Sustrato	Conductividad hidráulica saturada (m.día <sup>-1</sup> )
Fibra de coco	47 - 80
Cascarilla de arroz quemada	60

**Tabla 2-6: Clasificación de la Conductividad Hidráulica para suelos saturados, modificado de Stanley, Southard y Graham (2011)**

Suelo	Conductividad hidráulica saturada (m.día <sup>-1</sup> )	
	Mínimo	Máximo
Arcilla	0.02	0.13
Limo	0.13	3.12
Arena	3.12	-

De acuerdo a la Tabla 2-5 y Tabla 2-6, se observa que en general las conductividades hidráulicas son de 10 hasta 100 veces mayores en los sustratos frente a los suelos tradicionales. Por lo tanto, en cultivos sin suelo producto de una mayor conductividad hidráulica, como el que se presenta en la mayoría de las camas para cultivo de Clavel en Colombia, el manejo del riego requiere unos tiempos de aplicación muy pequeños a diferencia de lo que sucede en suelos.

### 2.3.4 CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD

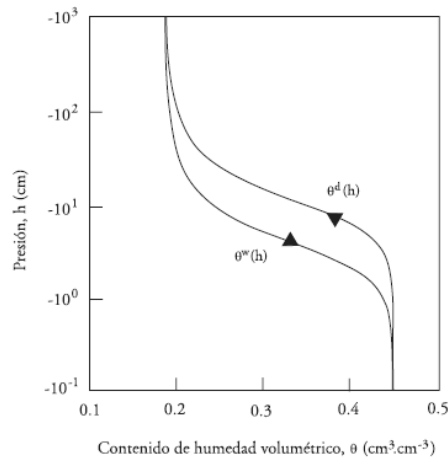
Las curvas de retención de humedad son aquellas que permiten identificar la variación de la succión en función del volumen de humedad del suelo o sustrato, estas curvas indican la cantidad de humedad que un determinado suelo puede retener a diferentes presiones o tensiones. Los valores de presión muestran la facilidad o dificultad con la cual el agua puede removerse del suelo y el porcentaje de humedad, la cantidad de agua que se obtiene en cada tensión. Quintero et al., (2011).

En consecuencia, estas curvas se obtienen a partir de funciones que relacionan el contenido de humedad del suelo y la presión con que es retenida el agua en el mismo. Algunos parámetros como la presión del aire, contenido de humedad del sustrato o suelo saturado y contenido de humedad residual se convierten en parámetros empíricos que son optimizados cuando las curvas de retención de humedad se ajustan modelos conocidos. (Ver Figura 2-3)

El parámetro de presión de entrada de aire se refiere a la presión a la cual el aire entra en el suelo o sustrato saturado, por lo que este valor representa la altura de la franja capilar en un suelo que ha alcanzado el equilibrio en el proceso de drenaje desde saturación

Es de aclarar que la presión de entrada de aire se relaciona directamente con el diámetro de los poros grandes del suelo o del sustrato. Con base en lo anterior cuando se elaboran las curvas de retención de humedad bien sea en suelos o sustratos, se satura el medio poroso, haciendo que todos los poros se llenen de agua.

**Figura 2-3: Curva característica de retención de humedad. Tomado de González, Tafur, Florez y Burbano (2011)**



De acuerdo a lo expresado por Quintero et al., (2011) y con base en lo anterior se considera que los sustratos agrícolas ideales son aquellos que tienen un tamaño de partícula entre 0.5 y 2.5 mm, ya que esto permite que los poros se encuentren entre 0,5 y 1,7  $\mu\text{m}$ , lo que indica que la presión de burbujeo se encuentra en 30 y 80 psi y el valor de entrada de aire entre 1 y 5 bares, no obstante estos parámetros dependen de las características particulares de los sustratos, y son diferentes de los suelos normales, por ejemplo las cascarillas tienen una geometría alargada lo que genera poros muy irregulares.

De acuerdo con las definiciones anteriormente planteadas a continuación se presentan las características de las curvas de retención de humedad para sustratos y para suelos, de tal manera que se obtenga la comparación de los valores para cada uno de ellos.

#### 2.3.4.1 CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD PARA LOS SUSTRATOS

Conforme a lo expresado por González, Quintero y Meneses (2011c) respecto a la caracterización hidrofísica de los sustratos, es importante conocer una serie de propiedades tales como las granulometría, densidad real, densidad aparente, porosidad, curvas de retención de humedad, lo cuales permiten llegar a identificar la capacidad de retención del agua del sustrato, así como la dinámica del movimiento del suelo. Lo anterior permitiría establecer si los modelos utilizados para el balance de agua en suelos podrían usarse para los sustratos.

Durante años se han planteado modelos para las curvas de retención de humedad, sin embargo hay sustratos que se ajustan de mejor manera a un modelo u otro, por ejemplo la cascarilla de arroz quemada y la escoria de carbón se ajustan de mejor manera al modelo de *Van Genuchten* (1980), a diferencia de la turba y las cascarillas de arroz cruda y quemada esterilizada las cuales se adaptan de mejor manera al modelo de *Brooks y Corey* (1964).

En algunos casos se ha establecido que a tensiones de 10 cm de columna de agua, se presentan para los sustratos rangos de contenido de humedad con base en volumen de 55-77%, mientras que la cascarilla de arroz quemada, la escoria de carbón y la turba presentan valores más altos, por otro lado la cascarilla de arroz quemada esterilizada presenta valores cercanos al valor inferior del rango. Abad et al., (2005). La Tabla 2-7 muestra algunos valores de contenido de humedad de sustratos a capacidad de campo.

**Tabla 2-7 : Capacidad de retención de agua - tomado de Calderón y Cevallos (2001)**

SUSTRATO	CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA A CAPACIDAD DE CAMPO	
	% en peso	% en volumen
Grava	4.2	6.7
Granulados de vidrio	3	4.8
Piedra Pómez	59.1	20.4
Escorias de carbón	49.7	34.7
Escorias volcánicas	14.5	13
Sílice	4.9	7.8
Vermiculita	382	43.6
Arcilla expandida	28	14
Arena	12	16
Cascarilla de arroz cruda	40	11
Lana de Roca (Rackwool)	1300	80
Cascarilla de Arroz Quemada	50	14
Cáscara de Coco	780	70

#### 2.3.4.2 CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD PARA LOS SUELOS

Las partículas del suelo que están mojadas por el agua tienen una gran atracción por ella, mientras que en suelos secos la humedad está distribuida en películas alrededor de las partículas, y la película más cercana a las partículas del suelo está fuertemente adherida a ellas.

Es por ello que Sanchez (1981) para evaluar la estructura del suelo en relación a la retención del agua, concluyó que en las estructuras fuertes del suelo la retención de agua era influida por la macroestructura, en el rango de tensión entre 0 y 0.3 bares, mientras que el efecto de la microestructura fue mayor a este rango. De acuerdo a Barrera (1984) la influencia de la microestructura se demostró aplicando la tensión superficial, radio de curvatura y relación de presión en fracciones de agregados seleccionados.



### 2.3.4.3 COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD

De acuerdo a Calderón y Cevallos (2001) con una serie de investigaciones realizadas en diferentes cultivos se ha encontrado que existen diferencias en la aplicación del fertirriego en un suelo y en un sustrato, básicamente esta diferencia radica en la frecuencia con se aplica, la cual está relacionada con el número de pulsos de riego que se generan.

La retención de humedad en peso indica la cantidad de agua que es capaz de retener un kg de sustrato, mientras que la retención de humedad expresada en volumen indica la cantidad de humedad que puede retener la unidad de volumen de sustrato. Adicionalmente, se debe tener en cuenta, aparte de la cantidad de humedad retenida, es la fuerza con la que esta es retenida.

Es importante resaltar que a diferencia de los suelos y de acuerdo a Martínez y Roca (2011), en los sustratos, el agua fácilmente aprovechable es el volumen de agua que libera el sustrato al aumentar la tensión de succión de 10 a 50 cm columna de agua (1 a 5 KPa de succión) es decir que la cantidad de agua retenida por el sustrato a una presión de 10 cm de tensión matricial corresponde a la capacidad de campo.

Según Martínez y Roca (2011) en los buenos sustratos hortícolas, la mayor parte de agua se retiene a bajo potencial, es decir que el rango se encuentra entre 1 a 5 KPa de succión, lo cual permite una buena disponibilidad de agua para la planta y un nivel de aireación suficiente en las raíces, por otro lado y de acuerdo a Barrera (1984) y a las investigaciones realizadas en la Universidad de Fresno por White (2002), para los suelos este rango se encuentra entre 9 y 60 KPa de succión.

Finalmente, de acuerdo con Martínez y Roca (2011) distintos autores han establecido que el nivel a partir del cual se limita la disponibilidad hídrica de la planta en sustratos tiene un valor cercano a 10 KPa de succión, este mismo punto en los suelos de textura fina como son las arcillas tiene un valor de 60 KPa de succión por lo cual los sustratos son vistos como un material que le permiten a la planta obtener el agua a presiones de succión mucho menores que en los suelos como se evidencia en la Tabla 2-8.

**Tabla 2-8 : Correspondencia aproximada de capacidad de campo y punto de marchitez permanente en suelos y sustratos**

	<b>CAPACIDAD DE CAMPO (Kpa)</b>	<b>PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (Kpa)</b>
<b>SUSTRATO</b>	<b>1</b>	<b>10</b>
<b>SUELO</b>	<b>9</b>	<b>60</b>

### **2.3.5 EFECTOS DE LA INUNDACIÓN**

La presencia de un sustrato demasiado fino, o al tener un recipiente que no tenga los orificios o la forma que permita un drenaje adecuado los espacios vacíos del sustrato se llenan de agua, desalojando el aire e impidiendo la adecuada oxigenación de las raíces. Al poco tiempo, las raíces se inundan y el cultivo puede morir. Según Calderón y Cevallos (2011) cuando un sustrato contiene materia orgánica como cascarilla de arroz, viruta o aserrín, tienen una mayor incidencia las consecuencias de la inundación, debido a que los sustratos se descomponen, consumiendo el oxígeno necesario para la respiración de las raíces.

### **2.3.6 AIREACIÓN DEL SISTEMA RADICAL**

Según Abad et al., (2005) y Ansorena (1994), la respiración que satisfaga las necesidades de las raíces es un factor clave de éxito en los cultivos hidropónicos. Debido a que algunas plantas requieren altas presiones parciales de oxígeno en el ambiente radical como lo son las orquídeas y los anturios, otras necesitan menores tensiones como las Rosas y los Claveles. Por lo anterior, el tipo de sustrato y especialmente su granulometría son de vital importancia. Las raíces respiran el Oxígeno contenido en los poros del sustrato. La implementación de un sustrato con estructura estable muy poroso y la aireación complementaria de la solución, evitan el riesgo de la carencia de oxígeno en la zona radical, lo cual la hace aún mejor que la obtenida en los suelos naturales.

Cuando un medio radical se torna anóxico, empieza la proliferación bacterias anaerobias, las cuales obtienen el oxígeno a expensas de sustancias como los carbohidratos. Estas bacterias actúan por igual sobre los carbohidratos constituyentes de los tejidos vivos como de los tejidos muertos de tal manera que inician la muerte y el proceso de pudrición, Calderón y Cevallos (2001).

### **2.3.7 ESTABILIDAD FÍSICA**

Según Calderón y Cevallos (2001), mantener una porosidad correcta depende en gran medida de la estabilidad física. La cascarilla de arroz quemada se disgrega más lentamente que la cascarilla de arroz cruda. Desde un punto de vista químico, es necesario que el sustrato satisfaga ciertas condiciones, debe ser químicamente inactivo, es decir, no absorber ni suministrar ningún elemento nutritivo, esto representaría una alteración en la solución nutritiva. El aserrín de algunas maderas, podrían suministrar taninos, y estos presentan consecuencias a niveles tóxicos en las plantas. Del mismo modo las virutas de madera utilizadas en las caballerizas suelen ser tóxicas para plantas de Clavel.

### **2.3.8 MODALIDAD DE RIEGO Y DRENAJE EN CULTIVOS SIN SUELO**

Cuando una planta requiere mayor cantidad de agua, se debe aplicar mayor cantidad de riegos, pero nunca se debe inundar el sustrato, lo anterior resulta con el objetivo de ahorrar riegos, ya que esto va contra los suministros de oxígeno. Es importante recalcar que las plantas transpiran en el instante en que haya radiación o luminosidad y es cuando se deben proporcionar el agua y

los nutrientes a la planta, Romo (2011). En Colombia específicamente en el cultivo de Clavel de acuerdo la experiencia del presente autor, el riego se realiza de manera empírica, pues en la práctica se llevan a cabo tres pulsos de riego en días nublados y cinco pulsos de riego en día soleados, conllevando a condiciones de saturación del sustrato y desperdicio del fertirriego aplicado.

Por otro lado, las formas más comunes de drenaje implementadas en el clavel según Calderón y Cevallos (2001) son:

- Drenaje por inclinación del recipiente: Es usada en el caso de las canaletas, bandejas, camillas, camas, etc., las cuales tendrán una pendiente de entre el 1 y el 5 % con el fin de facilitar el drenaje de los excesos de solución nutritiva.
- Drenaje por orificios inferiores: En el caso de bancadas o recipientes individuales tales como potes, bolsas o sacos, el drenaje se facilitará siempre por orificios en la parte inferior del recipiente.

## 2.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN

### 2.4.1 ANTECEDENTES

Según la Allen, Pereira, Raes y Smith., (2006), se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

Según González et al., (2015) la definición de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) ha evolucionado desde una noción muy ambigua como la expresada por Thornthwaite (1948), como la máxima evapotranspiración que se alcanza por un cultivo cuando no hay déficit de humedad del suelo, hasta la aceptada hoy en día Allen et al., (2006). Grassi (1988) expresa que la tendencia fue ubicar el proceso evapotranspiratorio en una situación análoga a la evaporación de una superficie de agua libre, en cuyo caso son los factores climáticos los determinantes de la velocidad de evapotranspiración. Este sentido es el que tienen los trabajos de Penman (1948) y Thornthwaite (1948).

Doorenbos y Pruitt (1977), introducen el concepto que revalida lo que se manejaba como ET<sub>o</sub>, acuñando como nuevo término Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET<sub>c</sub>), el cual se maneja actualmente; definida como la velocidad de evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme entre 8 y 15 cm de alto, creciendo activamente y ofreciendo cobertura total y que no tiene déficit de humedad.

En este trabajo se busca estandarizar el procedimiento mediante la determinación de la ET<sub>o</sub>, con base en información climática y de lisímetros, representando diferentes condiciones ambientales

---

para ser aplicadas, tal como se señala en el apéndice II del texto FAO 24. Las ecuaciones originales de estimación fueron llevadas a un mismo concepto de ETo, mediante la aplicación de coeficientes que dependían de las condiciones locales. Una vez se obtiene la ETo, se determina la evapotranspiración del cultivo (ETc) mediante la multiplicación de la ETo por un coeficiente de cultivo, que es aplicable a cualquiera de las estimaciones de ETo obtenidas por alguno de los modelos probados.

Años más adelante, en 1990, distintos investigadores validaron las metodologías mencionadas en la FAO 24, el reporte de los consultores recomendó adoptar el modelo Penman-Monteith (1977). Estos autores revisaron la definición de la ETo así como los procedimientos de cálculo para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia, Allen, Smith, Perrier y Pereira (1994).

Allen et al., (2006) al define la ETo como la producida en un cultivo hipotético de pasto (gramíneas), con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de  $70 \text{ s m}^{-1}$  y un albedo de 0,23. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo.

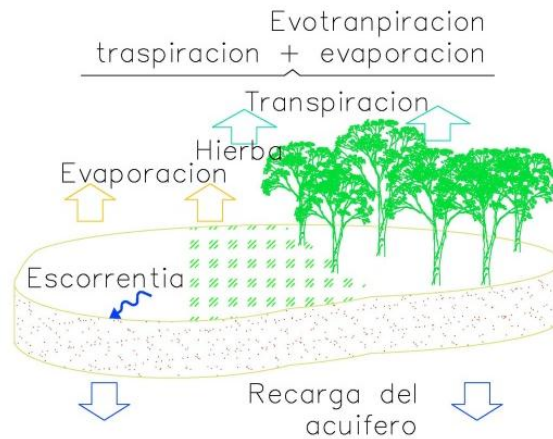
Según Allen et al., (2006) la evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el cultivo crece. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ETo ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ETo ocurre como transpiración.

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua., en la Figura 2-4 se presenta el proceso de evapotranspiración.

En el sistema suelo-planta, se destacan las condiciones de humedad del suelo y estado fenológico de la planta. Según Brown (2000), la humedad del suelo es el parámetro más importante que interviene en la ET. El tipo de planta está relacionado con la variedad o especie del cultivo y el estado de la planta se relaciona con el tamaño y actividad de crecimiento de la misma. La cantidad de ET producida en un cultivo depende en gran medida de la cobertura del suelo y el área de la hoja expuesta al proceso de transpiración.

**Figura 2-4: Proceso de evapotranspiración. (Elaboración Propia)**



## 2.4.2 EVAPORACIÓN

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada. Allen et al., (2006).

Según Allen et al., (2006) para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja.

## 2.4.3 CONCEPTOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

El concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones según Allen et al., (2006):

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET<sub>c</sub>), y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET<sub>caj</sub>). ET<sub>o</sub> es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera. ET<sub>c</sub> se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas

---

con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas.  $ET_c$  requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condiciones no estándar de cultivo, denominado  $ET_{caj}$ .

#### 2.4.3.1 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA ( $ET_o$ )

Según Allen et al., (2006), la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina  $ET_o$ . La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. No se recomienda el uso de otras denominaciones como  $ET$  potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición.

El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre  $ET_o$ . El relacionar la  $ET_o$  a una superficie específica permite contar con una referencia a la cual se puede relacionar la  $ET_o$  de otras superficies. Además, se elimina la necesidad de definir un nivel de  $ET_o$  para cada cultivo y periodo de crecimiento. Se pueden comparar valores medidos o estimados de  $ET_o$  en diferentes localidades o en diferentes épocas del año, debido a que se hace referencia a  $ET_o$  bajo la misma superficie de referencia. Allen et al., (2006).

Los únicos factores que afectan  $ET_o$  son los parámetros climáticos. Por lo tanto,  $ET_o$  es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos.  $ET_o$  expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de  $ET_o$  con parámetros climáticos. Este método ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la  $ET_o$  de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la estimación de los parámetros climáticos faltantes. Allen et al., (2006).

#### 2.4.3.2 EVAPORACIÓN DEL CULTIVO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR ( $ET_c$ )

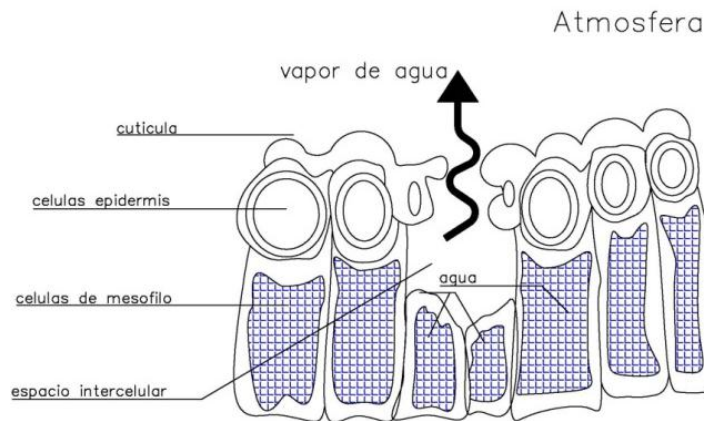
Según Allen et al., (2006), La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina  $ET_c$ , y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

## 2.5 TRANSPIRACIÓN.

El proceso por el cual la evaporación del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera, se llama transpiración. La pérdida de agua es predominantemente a través de los estomas. Los cuales son aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera (Figura 2-5). Según Allen et al., (2006) casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales.

La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la cantidad de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo.

**Figura 2-5: Esquematación de un estoma durante el proceso de transpiración (Allen et al, 2006)**



## 2.6 MÉTODOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE REFERENCIA EN INVERNADEROS

Varias fórmulas empíricas han sido desarrolladas para obtener la evapotranspiración. Estas se encuentran basadas en mediciones climatológicas (temperatura, radiación solar, velocidad del viento, etc.). Las fórmulas más sencillas son las basadas en la medida de la temperatura, destacándose los modelos de Thornthwaite (1948) y Blaney y Cliddle (1950). Existen otras ecuaciones, igualmente empíricas, que dependen de la radiación solar como el método de

Priestly-Taylor (1972) y Jensen y Haise (1963), otros combinan la temperatura y la radiación solar. Más rigurosas resultan aquellas fórmulas con base en la combinación del balance energético y el transporte convectivo del vapor de agua tal como la ecuación de Penman-Monteith, Anton, Montero y Muñoz (2003) y Stefano y Ferro (1997).

La metodología estándar propuesta en el documento Evapotranspiración del Cultivo Allen et al., (2006), que tiene como fin determinar los requerimientos de agua en los cultivos usa el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ) obtenidos mediante la estimación del modelo Penman-Monteith. El valor del coeficiente de cultivo ( $k_c$ ) depende del tipo y estado del cultivo, tipo de suelo y de las condiciones ambientales. La Ecuación 2-1 expresa la relación que se utiliza para determinar la evapotranspiración real del cultivo  $ET_c$ . Esta metodología es válida para la estimación de la  $ET_o$  en invernaderos, Baille (1996). La Comisión Internacional de Riego y Drenaje (ICID) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) recomiendan el uso de la ecuación Penman-Monteith para calcular la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) con datos climáticos y evaluar la confiabilidad de otros métodos que predicen la  $ET_o$ , Stefano y Ferro (1997). Para estimar los requerimientos de agua en los cultivos bajo invernadero se han desarrollado modelos simples basados en el método de Penman-Monteith, Fernández et al., (2010) y Montero et al., (2001). Estos métodos han sido desarrollados por Stanghellini 1987, Jolliet y Bailey 1992, Baille et al., (1994), Boulard y Wang (2000), Montero et al., (2001), Möller et al., 2004, Medrano et al., (2008) y la mayor dificultad encontrada para su implementación es la poca información existente sobre la resistencia aerodinámica de los cultivos según Fernández et al., (2010) y Sandoval et al., (2014).

Según Kashyap y Panda (2001), al igual que Casanova et al., (2009), el uso de esta ecuación presenta el inconveniente que requiere los datos de clima, de radiación solar incidente, temperatura del aire, presión real de vapor de agua, presión de saturación de vapor de agua, velocidad del viento y número de horas reales de sol, las cuales en algunos casos no están disponibles. Entre los numerosos estudios que la FAO ha desarrollado en aras de generar estrategias de solución a la crisis hídrica, ha propuesto la metodología de evapotranspiración de cultivo con el fin de obtener los parámetros básicos para aumentar la eficiencia de las programaciones de riego.

#### **Ecuación 2-1**

$$ET_c = ET_o * k_c$$

Donde

$ET_c$ : Evapotranspiración real del cultivo

$ET_o$ : Evapotranspiración del cultivo de referencia

$k_c$ : Coeficiente del cultivo

La  $ET_o$  es estimada por Penman-Monteith u otros modelos y está en función de las condiciones climáticas, mientras que  $k_c$  se encuentra en función de las condiciones del cultivo.



Un estudio llevado a cabo por Casanova et al., (2009), comparó la evapotranspiración del cultivo de lechuga bajo condiciones invernadero obtenida por los métodos de tanque de evaporación Clase A, atmómetros de Piche, tanque de evaporación, la ecuación de Penman-Monteith (1977) y la ecuación FAO-Radiación con la evapotranspiración determinada directamente a partir de las mediciones de balance hídrico con lisímetro y encontraron que el método que más se ajusta a los valores obtenidos con el lisímetro fue el tanque de evaporación. En la Tabla 2-9 se describen algunas ecuaciones usadas para estimar ETo, como también los parámetros requeridos para su estimación.

**Tabla 2-9: Parámetros requeridos por las ecuaciones de evapotranspiración de referencia.**

AUTOR	T	H	V	S	R	E	I	ECUACIÓN
Penman-Monteith (1977)	o	o	o	o	o			$ET_o = \frac{1}{\lambda} * \frac{(R_n - G) + c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{1 + \frac{r_s}{r_a}}$
Stanghellini (1987)	o				o		o	$ET_o = 2 * IAF * \frac{1}{\lambda} * \frac{(R_n - G) + K_r \frac{DVP * C_p}{r_R}}{1 + \frac{r_s}{r_a}}$
Priestley-Taylor (1972)	o				o			$ET_o = \frac{1}{\lambda} * \Delta * \frac{R_n - G}{\Delta + \lambda} * \infty' * K_w$
Anton (2003)	o				o		o	$ET_o = 0.5(1 - e^{-0.64 * IAF}) * R_s * K_w + 8.6 * IAF * DPV * K_w$
Hargreaves-Samani (1985)	o				o			$ET_o = 0.0135 * R_s (T_{med} + 17.8)$
Blaney-Morin (1950)	o	o						$ET_o = \frac{T_{med} * p}{100} (114 - HR_{med})$
Jensen-Haise (1963)	o				o			$ET_o = (0.014 T_{med} - 0.37) * R_s$
Makkink (1957)	o				o			$ET_o = 0.61 \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) R_s - 0.12$
Thorntwaite (1948)	o							$ET_o = 16 \left( 10 \frac{T_{med}}{I} \right)^a$
Turc (1961)	o			o				$ET_o = 0.4 * (R_s + 50) * \left( \frac{T_{med}}{T_{med} + 15} \right)$
Tanque de evaporación						o		$ET_p = k_c k_p E_{pan}$
T: Temperatura, H: Humedad Relativa, V: Velocidad del Viento, S: Horas sol, R: Radiación solar Global, E: Evaporación, I: Índice de Área foliar								

### 2.6.1 MÉTODO AERODINÁMICO Y DE BALANCE DE ENERGÍA

Según Rosenberg (1974), la ecuación de transporte de flujo de calor latente de evaporación es función de la densidad del aire, del coeficiente de transporte turbulento vertical  $k_v$  y del gradiente de humedad específica a dos alturas. Está dado por la siguiente ecuación:

**Ecuación 2-2**

$$E = \rho_a K_v \frac{\delta a}{\delta z}$$

Dónde:

- $E$  = Evaporación ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
- $\rho_a$  = Densidad del aire ( $\text{g cm}^{-3}$ )
- $K_v$  = Coeficiente de transporte turbulento para vapor de agua ( $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ )
- $\delta a$  = Diferencia de humedad específica a dos alturas ( $\text{g H}_2\text{O/g aire}$ );
- $\delta z$  = Diferencia entre las dos alturas de observación (cm).

De acuerdo a Monsalve (1999), el método aerodinámico está basado en el proceso de difusión de vapor, sin embargo presenta serias dificultades ya que la Ecuación 2-2 presenta soluciones simples solo en condiciones especiales.

Por otro lado, el método de balance de energía está basado en el principio de conservación de energía, es decir, el balance de energía entre la superficie y el aire vecino, esto puede ser expresado de la siguiente manera:

**Ecuación 2-3**

$$ET_o = \frac{10}{L} \left( \frac{R_1 - F_c}{1 - B} \right)$$

Dónde:

$ET_o$  = Evapotranspiración de Referencia (mm)

$L$  = Calor latente de evaporación (cal/gr)

$R_1$  = Puede ser obtenido directamente con el empleo de un radiómetro líquido o a través de expresiones analíticas

$F_c$  = Puede ser obtenido con placas de flujo

$B$  = coeficiente de transferencia de vapor

Es importante mencionar que Penman (1948) propuso combinar los métodos de balance de energía y el aerodinámico, Penman planteó también que el flujo de calor en el suelo puede ser despreciado en relación con los demás términos cuando son aplicados para periodos de un día o más.

### 2.6.2 ECUACIÓN DE PENMAN-MONTEITH (1977)

Esta ecuación combina el balance de energía con el método de transferencia de masas. La ecuación se define en términos de datos de clima (horas de sol, temperatura, humedad y velocidad del viento), resistencia aerodinámica y resistencia superficial. Se expresa de la siguiente manera:

#### Ecuación 2-4

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Dónde:

ET <sub>o</sub>	evapotranspiración de Referencia (mm día <sup>-1</sup> )
R <sub>n</sub>	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
G	flujo del calor de suelo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u <sub>2</sub>	velocidad del viento a 2 m de altura (m s <sup>-1</sup> )
e <sub>s</sub>	presión de vapor de saturación (kPa)
e <sub>a</sub>	presión real de vapor (kPa)
e <sub>s</sub> - e <sub>a</sub>	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C <sup>-1</sup> )
γ	Constante psicrométrica (kPa °C <sup>-1</sup> )

### 2.6.3 ECUACIÓN DE BALANCE HÍDRICO

Este balance se describe en función de las entradas, salidas y almacenamiento de agua. Se expresa de la siguiente como sigue:

**Ecuación 2-5**

*El  $\Delta$  contenido de humedad = Entradas – Salidas*

$$\Delta\theta = R_i - (ET_i + D_i) \xrightarrow{\text{Entonces}} ET_{o_i} = R_i - D_i \pm \Delta\theta_i$$

Donde:

$ET_{o_i}$  = Evapotranspiración de Referencia (mm/periodo)

$R_i$  = Riego o precipitación (lt/periodo)

$D_i$  = Drenaje (lt/periodo)

$\Delta\theta_i$  = Contenido de humedad

**2.6.4 ECUACIÓN DE TURC (1961)**

Ecuación Turc (1961). Se basa en la radiación solar y la temperatura media del aire. Se expresa de la siguiente manera:

**Ecuación 2-6**

$$ET_o = 0.4 * (R_s + 50) * \left( \frac{T_{med}}{T_{med} + 15} \right)$$

Donde:

$ET_{o_i}$  = Evapotranspiración Referencia (mm)

$R_s$  = Radiación Solar (MJ/m<sup>2</sup>/día)

$T_{med}$  = Temperatura media (°C)

**2.6.5 ECUACIÓN HARGREAVES-SAMANI (1985).**

Esta ecuación se describe en términos de la radiación solar y la temperatura media del aire, se expresa de la siguiente manera:

**Ecuación 2-7**

$$ET_o = 0.0135 * R_s (T_{med} + 17.8)$$

Donde:

$ET_o$  = Evapotranspiración Referencia (mm/día)

$R_s$  = Radiación Solar (MJ/m<sup>2</sup>/día)

$T_{med}$  = Temperatura media (°C)

### 2.6.6 ECUACIÓN GARCÍA Y LÓPEZ (1970)

El método de García y López (1970) para el cálculo de la evapotranspiración está en término de las Humedad Relativa (Hr) y la temperatura (T) a continuación:

#### Ecuación 2-8

$$ET_o = [1.21 * 10^n * (1 - 0.01Hr)] + 0.21T - 2.3$$

$$n = \frac{7.45T}{234.7 + T}$$

Donde:

$ET_o$  = Evapotranspiración de Referencia (mm/día)

$Hr$  = Humedad Relativa (%)

$T$  = Temperatura media (°C)

$n$  = Constante dependiente de la temperatura

### 2.6.7 ECUACIÓN DEL TANQUE DE EVAPORACIÓN

Debido a los numerosos datos que requiere la ecuación Penman-Monteith, su uso en invernaderos es complejo. Según Casanova et al., (2009) es más frecuente obtener el valor de  $ET_o$  mediante el método de tanque de evaporación.

#### Ecuación 2-9

$$ET_o = k_p E_p$$

Donde:

$ET_o$  = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

$K_p$  = coeficiente del tanque evaporímetro que depende de la humedad relativa mínima, de la velocidad promedio del viento en 24 horas y del tipo de cobertura que se encuentra alrededor del tanque Tabla 2-10.

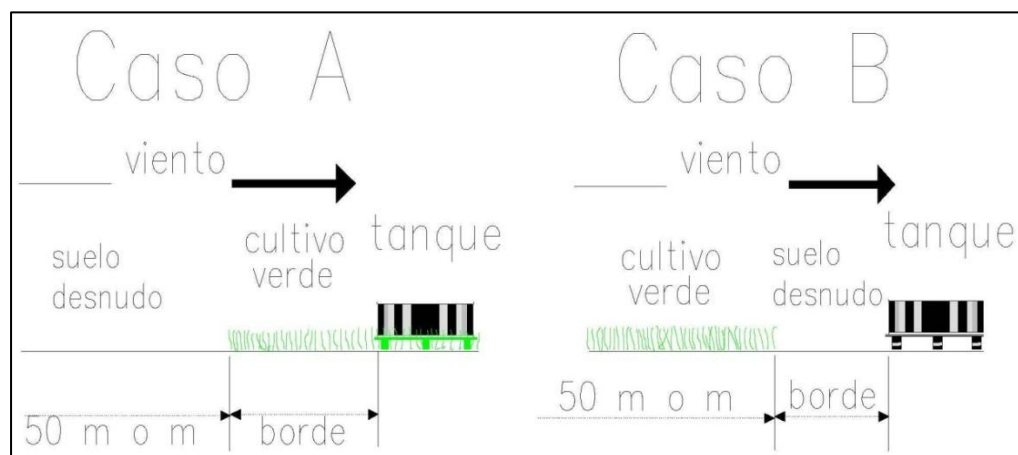
$E_p$  = Evaporación media en el tanque evaporímetro (mm/día)

**Tabla 2-10: Coeficiente del tanque evaporímetro (Kp) para el tanque Clase A para diversas localizaciones y ambientes de los tanques y varios valores de velocidad media de viento y de humedad relativa (FAO 24 -Doorenbos y Pruitt, 1977)**

Velocidad Viento (m/s)	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en un suelo desnudo			
	Distancia del cultivo a barlovento (m)	HR media			Distancia de barbecho al barlovento (m)	HR media		
		baja < 40	media 40-70	alta > 70		baja < 40	media 40-70	alta > 70
Baja < 2	1	0.55	0.65	0.75	1	0.7	0.8	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.6	0.7	0.8
	100	0.7	0.8	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.5	0.6	0.7
Moderada 2-5	1	0.5	0.6	0.65	1	0.65	0.75	0.8
	10	0.6	0.7	0.75	10	0.55	0.65	0.7
	100	0.65	0.75	0.8	100	0.5	0.6	0.65
	1000	0.7	0.8	0.8	1000	0.45	0.55	0.6
Alta 5-8	1	0.45	0.5	0.6	1	0.6	0.65	0.7
	10	0.55	0.6	0.65	10	0.5	0.55	0.65
	100	0.6	0.65	0.7	100	0.45	0.5	0.6
	1000	0.65	0.7	0.75	1000	0.4	0.45	0.55
Muy alta >8	1	0.4	0.45	0.5	1	0.5	0.6	0.65
	10	0.45	0.55	0.6	10	0.45	0.5	0.55
	100	0.5	0.6	0.65	100	0.4	0.45	0.5
	1000	0.55	0.6	0.65	1000	0.35	0.4	0.45

Es importante mencionar que para el Caso A el tanque evaporímetro se localiza en una zona de pasto corto verde y está rodeado por un suelo desnudo; y en el Caso B el tanque evaporímetro se localiza sobre un suelo desnudo y está rodeado por un cultivo verde como se presenta en Figura 2-6.

**Figura 2-6: Casos de localización del tanque de evaporación y sus alrededores. Fuente: Modificado de Allen et al., (2006)**



Finalmente cabe mencionar que comúnmente el tanque evaporímetro utilizado en Colombia es circular con un diámetro de 120,7 cm y 25 cm de profundidad. Está construido de hierro

galvanizado o de láminas de metal (0,8 mm). Una vez instalado, el tanque se llena con agua hasta 5 cm por debajo del borde y el nivel del agua no debe disminuir hasta más de 7,5 cm por debajo del borde.

## 2.7 COEFICIENTE DE CULTIVO ( $k_c$ )

Según Allen et al., (2006) es un coeficiente que tiene en cuenta las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo, este describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección.

El  $k_c$  está relacionado con las fases de crecimiento del cultivo y se define a través de la curva de  $k_c$ , ver Figura 2-7. La curva describe cuatro fases: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedia y final de temporada. La fase inicial va desde la siembra hasta que el cultivo alcanza un 10% de la cobertura del suelo. La fase de desarrollo, empieza cuando termina la etapa anterior y va hasta el crecimiento activo de la planta. La fase intermedia, va desde la floración hasta que el cultivo alcanza el 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo. La fase final, va desde la madurez hasta la cosecha.

El coeficiente de cultivo,  $K_c$ , es un coeficiente de ajuste que permite calcular la  $ET_c$  partir de la  $ET_o$  (ver Ecuación 2-10). Estos coeficientes dependen fundamentalmente de las características propias de cada cultivo, por tanto, son específicos para cada uno de ellos y dependen de su estado de desarrollo y de sus etapas fenológicas, por ello, son variables a lo largo del tiempo.

El  $k_c$  se define como la relación entre la ET real ( $ET_c$ ) y la  $ET_o$  y es representada mediante la siguiente ecuación.

### Ecuación 2-10

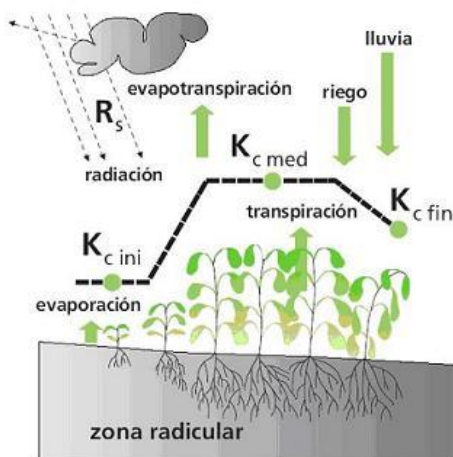
$$k_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

Es de aclarar que las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectaran al valor del coeficiente  $K_c$ . Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectaran al valor de  $K_c$ .

En la Figura 2-7 se muestra como el  $K_c$  varia a lo largo de distintas etapas fenológicas del cultivo, la curva describe cuatro fases: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedia y final de temporada, las cuales se describirán específicamente para el cultivo de Clavel más adelante. Las etapas fenológicas son presentadas en la Tabla 2-11, así mismo, las etapas

fenológicas evaluadas durante el desarrollo experimental de la presente tesis para el cultivo de clavel variedad Rony son presentados en la Tabla 4-2.

**Figura 2-7: Curva del  $K_c$  en función del desarrollo. Fuente: FAO 56 (Allen et al, 2006)**



Es importante mencionar que el  $K_c$ , es función del modelo que estime la  $ET_o$ , es decir si se estime la  $ET_o$  por el método de Penman-Monteith (1977), los valores de  $K_c$  que usa la FAO pueden ser adecuados para generalizarlos dada la escasez de información e investigación disponible, si la  $ET_o$  se obtiene a partir de una fórmula empírica como Thornthwaite (1948), se requieren obtener unos valores de  $K_c$  en función de valores de  $ET_o$  estimados por el modelo; una de las justificaciones del uso generalizado de estimación de  $ET_o$  por el método de Penman-Monteith (1977) es precisamente que dada la escasez de datos e investigaciones *in-situ* los  $K_c$  obtenidos de las tablas de la FAO pueden ser recomendados para su uso.

## 2.8 ETAPAS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE CLAVEL.

En el desarrollo del clavel estándar se observan siete estadios fenológicos que dependen de la variedad y las condiciones climáticas, así: 1) fijación de la raíz después del trasplante, semana 0 a 6; 2) desarrollo de brotes laterales posterior al despunte, semana 5 a 15; 3) elongación de tallos, semana 14 a 25; 4) desarrollo de botón principal y laterales, semana 16 a 30; 5) primera cosecha, semana 23 a 34; 6) segundo periodo vegetativo, semana 30 a 50; 7) segunda cosecha, semana 48 a 65 y producción continua, semana 64 a 104. Durante el segundo periodo vegetativo y de producción prosigue el desarrollo de brotes laterales, la elongación de los tallos y el desarrollo de los botones principales y laterales. Arévalo et al., (2007).

A medida que el cultivo se desarrolla, tanto el área del suelo cubierta por la vegetación como la altura del cultivo y el área foliar variaran progresivamente. Debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el valor de  $K_c$  correspondiente a un cultivo determinado, también variara a lo largo del periodo de



crecimiento del mismo. La curva (ver Figura 2-7) describe cuatro fases: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedia y final de temporada, las cuales, para el clavel se describen como:

### **2.8.1 ETAPA INICIAL DEL CULTIVO DE CLAVEL.**

Según Arévalo et al., (2007) en el cultivo de Clavel, la etapa inicial está comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo, esto es de la semana 0 a la 13. La longitud de la etapa inicial depende en gran medida del tipo de cultivo, la variedad del mismo, la fecha de siembra y del clima. El final de la etapa inicial ocurre cuando la vegetación verde cubre aproximadamente un 10% de la superficie del suelo, comprende el primer estadio fenológico.

Durante el periodo inicial el área foliar es pequeña y la evapotranspiración ocurre principalmente como evaporación en el suelo. Por lo tanto, el valor de  $K_c$  durante el periodo inicial ( $K_c$  ini) es alto cuando el suelo se encuentra húmedo debido al riego o lluvia, y es bajo cuando la superficie del suelo se encuentra seca.

### **2.8.2 ETAPA DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE CLAVEL.**

En el cultivo de Clavel, la etapa de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa, esto es de la semana 14 a la 25. Arévalo et al., (2007). Para el cultivo de Clavel, en esta etapa ocurre el inicio de la floración.

### **2.8.3 ETAPA DE MEDIADOS DE TEMPORADA DEL CULTIVO DE CLAVEL.**

En el cultivo de Clavel, la etapa de mediados de temporada comprende el periodo de tiempo entre la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez, esto se da entre la semana 16 y la 30. Arévalo et al., (2007). El comienzo de la madurez está indicado generalmente por el comienzo de la vejez, amarillamiento o senescencia de las hojas. Durante la etapa de mediados de temporada, el coeficiente  $K_c$  alcanza su valor máximo. El valor de  $K_c$  en esta etapa ( $K_c$  medio) es relativamente constante el cultivo de clavel.

### **2.8.4 ETAPA DE FINALES DE TEMPORADA DEL CULTIVO DE CLAVEL.**

Según Arévalo et al., (2007) en el cultivo de Clavel, la etapa final o tardía de crecimiento comprende el periodo entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia, tiene lugar entre la semana 23 a la 36.

## 2.8.5 RESUMEN DE LAS ETÁPAS FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE CLAVEL

Conforme a lo descrito anteriormente en la Tabla 2-11 se presenta en resumen las etapas fenológicas del cultivo de Clavel.

**Tabla 2-11: Etapas fenológicas del cultivo de Clavel en el primer pico**

ETAPA	SEMANAS
INICIAL	0 -13
DESARROLLO	14 -25
MEDIADOS DE TEMPORADA	16 -30
FINAL	23-36

La Tabla 2-11 presenta las etapas fenológicas del clavel en general, sin embargo las semanas podrían variar de acuerdo a la variedad que se esté manejando en el cultivo. Cabe mencionar que para el presente estudio los periodos fenológicos para el cultivo de clavel variedad Rony se presentan en la Tabla 4-2 y serán los utilizados en el presente documento.

## 2.9 LOS LISÍMETROS

### 2.9.1 DEFINICIÓN

De acuerdo a Tzenova (1978) el termino Lisímetro significa en griego medidor de infiltración, representa un equipo en el cual un volumen determinado de suelo, se coloca en un recipiente especial con el fin de aislarlo del medio externo. Un lisímetro es un dispositivo de medición que se puede utilizar para medir la cantidad de evapotranspiración real que es liberada por las plantas, al registrar la cantidad de precipitación que cae en un área determinada y la cantidad perdida a través del suelo, Davie (2003). Uno de los usos que los lisímetros persigue es la determinación de la demanda de agua de los cultivos con fines de la planificación de riego y más específicamente:

- Determinar la evapotranspiración real de los cultivos ETC. Perrier, Gosse y Itier (1980)
- Investigar la influencia de los factores climáticos y sus combinaciones, en el proceso evapotranspiratorio. Perrier et al., (1980).
- Obtener relaciones entre la evapotranspiración medida y la computada mediante fórmulas meteorológicas que involucren variables meteorológicas medidas in-situ. Rijtema (1965).
- Medir la evapotranspiración real ETC y sus relaciones con la evapotranspiración de referencia ETo en diferentes estados de cobertura y crecimiento, (Estadios fenológicos

del cultivo), si mismo medir la influencia de la disponibilidad de agua en el suelo y sus relaciones con la evapotranspiración. Blad y Rosenberg (1974).

## 2.9.2 ANTECEDENTES

De acuerdo con González, Quintero y Florez. (2015b) Inicialmente los lisímetros fueron concebidos para estudiar el drenaje profundo y la concentración de nutrientes extraídos del suelo; la evapotranspiración era determinada como subproducto. Sin embargo, Howell, Schneider y Jensen (1991) y Goss y Ehlers (2009) evidencian la importancia que han tomado los lisímetros en la estimación de la evapotranspiración. De acuerdo con Lopez (1970) los lisímetros permiten un mejor conocimiento de los factores que influyen en el proceso de evapotranspiración, como también comparar el grado de exactitud de los métodos indirectos que son utilizados para estimarla, así como en su utilidad para el entendimiento del proceso de infiltración del agua en el suelo y como las plantas utilizan esa agua. Allen, Pereira, Howell y Jen (2011) refuerzan el concepto sobre su utilidad, observada desde sus inicios, señalando que los lisímetros han sido usados intensivamente para proveer información útil en el desarrollo, calibración y validación de los métodos de estimación de ET.

Berrada et al. (2008) consideran que las mediciones directas de la ET son más precisas cuando se usan lisímetros de pesada, dado que los lisímetros que no son de pesada o volumétricos, aunque más comunes, no son considerados los más indicados para medir ET del cultivo de referencia o coeficiente de cultivo  $K_c$ . Para determinar la  $ET_c$ , deben mantenerse las condiciones naturales de humedad del suelo. Para determinar la  $ET_o$  se debe aplicar riego al cultivo sembrado en el lisímetro manteniendo la humedad del suelo a capacidad de campo. Las mediciones de humedad obtenidas pueden ser volumétricas o de masa, dependiendo del tipo de medidor instalado Tuccy y Beltrán (1993).

De acuerdo con Goss y Ehlers (2009), los lisímetros además de coadyuvar en la comprensión de la fisiología de los cultivos, también facilitan conocer la dinámica del cultivo en campo y su relación con la hidrología regional.

## 2.9.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS LISIMETROS

De acuerdo con González C. et al., (2015b) el lisímetro consiste en un recipiente impermeable que contiene un volumen de suelo y que mediante el monitoreo de algunos parámetros del suelo que puedan ser usados en el balance hídrico del volumen de control, permita estimar las variables de interés.

En general, los lisímetros están orientados a la obtención de datos experimentales que permitan tener un mejor conocimiento de los factores que influyen en el proceso evapotranspiratorio y medir el grado de exactitud de procedimientos indirectos que se utilizan para estimarlo.

Según Olalla, Lopez y Calera (2005) en los lisímetros de pesada, los cambios de peso representan una medida directa del flujo de agua que entra y sale del lisímetro. El peso total de un lisímetro en un momento dado ( $M_t$ ) se puede expresar por la siguiente ecuación:

#### Ecuación 2-11

$$M_t = M_o + P_{cv} - ET - D + R + P$$

Donde

$M_o$  = Peso inicial del lisímetro

$P_{cv}$  = Acumulación de biomasa de la cubierta vegetal

$ET$  = Pérdida de agua del lisímetro por evapotranspiración

$D$  = Agua de drenaje recibida en recipientes que están afuera del lisímetro

$R$  = Cantidad de agua aplicada mediante el riego

$P$  = Precipitación recibida por lisímetro.

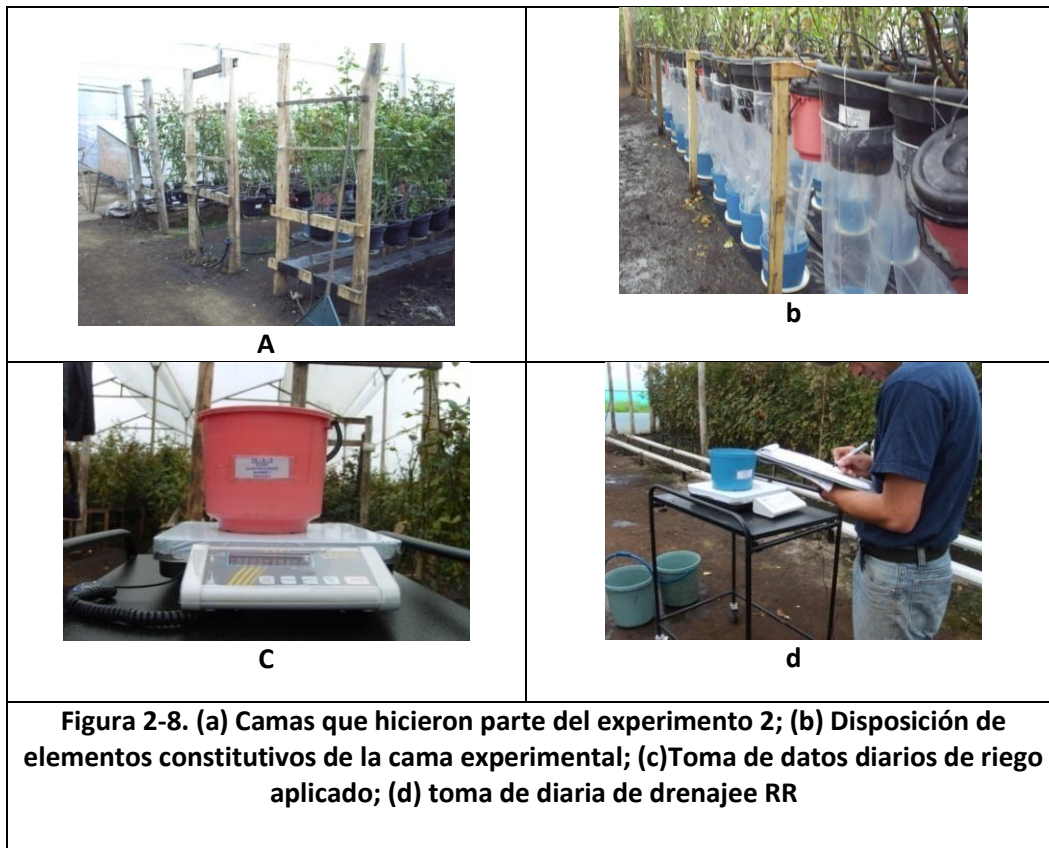
### 2.9.4 TIPOS DE LISIMETROS

Según Pulido (2014), existen los siguientes tipos fundamentales de lisímetros de acuerdo con su principio de acción:

- ❖ Lisímetros de pesada: Los lisímetros de pesada se desarrollaron para realizar una serie exacta mediciones para el cálculo de la evapotranspiración para pastos y cultivos (Pruitt y Angus, (1960); Young, Wierenga y Mancino (1996)). En éstos lisímetros se utiliza la correspondencia existente entre volúmenes y pesos de agua, para medir la evapotranspiración gravimétricamente en lugar de hacerlo volumétricamente. en este grupo cae un variado número de lisímetros:
  - De envases comunes: Consisten en emplear simples recipientes, que llenos de tierra y sembrados con cultivo se pesan cada cierto tiempo, por lo general diariamente, La pérdida de peso entre dos mediciones, corresponderá al agua perdida durante el periodo, lo cual se lleva a lámina al dividir por el área del recipiente, Como estos evapotranspirómetros son livianos, no se necesita colocarlos sobre básculas, sino en el suelo, y se sacan de allí, para pesarlos. Según González C. et al., (2015a) Estos lisímetros se podrían catalogar como móviles
  - Sobre balanzas: Con forme al método de medición del peso estos lisímetros pueden ser:

- Móviles: Se sacan de sus lechos a mano o mediante dispositivos de elevación especiales (grúas) y se ponen sobre balanzas de plataforma para medir el peso; después, se vuelven a colocar en su lugar. Los lisímetros que funcionan de acuerdo con este principio de medición del peso, normalmente tienen dimensiones pequeñas, Una ligera variación de este tipo de lisímetro fue el trabajo realizado por Esmeral, González y Flórez (2011), en la estimación de ET en rosa cultivada en materas, como contenedores, usó esta facilidad de aislamiento de las materas para pesar diariamente en una balanza de alta precisión el volumen de agua drenada así como el volumen de agua regado, logrando obtener valores de consumo diario de agua para este cultivo. En la Figura 2-8 se muestra la producción de un cultivo semi-comercial, el diseño experimental y la disposición de las Rosas en materas

**Figura 2-8: Evapotranspiración en plantas de rosa cv. Charlotte en condiciones de invernadero en la sabana de Bogotá. Modificado de Esmeral et al. (2011)**

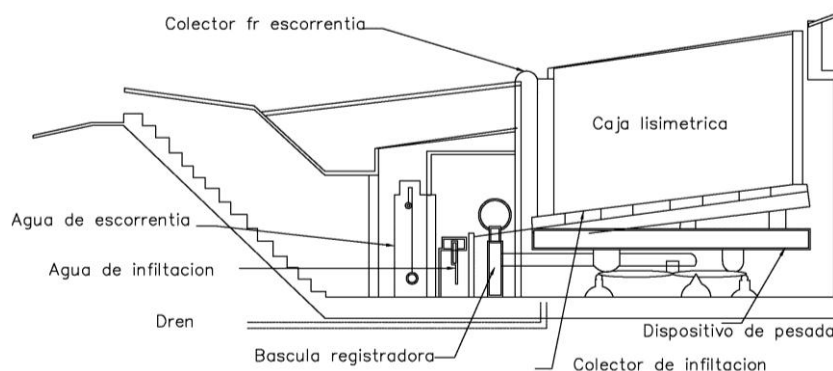


- Estacionarios (ver Figura 2-9). Están puestos permanentemente en el dispositivo de medición del peso (la balanza). Normalmente son lisímetros de grandes dimensiones donde el peso del suelo y los demás accesorios del lisímetro mismo pesan varias to-

neladas. Se considera que los lisímetros de medición del peso facilitan datos precisos, pero la medición de pesos más grandes causa ciertas dificultades.

El uso de balanzas de plataforma y dispositivos de elevación para sacar los lisímetros de sus lechos y pesarlos, es posible sólo en caso de lisímetros de peso y dimensiones limitados. En todos los casos en que los lisímetros utilizados son de grandes dimensiones, los mismos deben ser estacionarios, colocados sobre balanzas, lo cual encarece su construcción.

**Figura 2-9: Lisímetro de Pesada. (Elaboración Propia)**



- ❖ **Lisímetros flotantes:** Estos tipos de lisímetros llamados, asimismo, hidráulicos, tienen el recipiente lleno de suelo (el monolito) que está flotando directamente o mediante un flotador en una piscina llena de agua u otra solución. La ley de Arquímedes sirve de base al principio de estos lisímetros. Al evaporarse la humedad del monolito de suelo flotante, el peso del mismo disminuye y, como consecuencia, él emerge sobre la superficie del líquido. Por los cambios en la profundidad de sumersión se determina la evapotranspiración del monolito de suelo del lisímetro. El registro continuo de estos aparatos los hace muy útiles, en comparación con otros que efectúan medidas a intervalos relativamente largos; pues así se puede estudiar el proceso de flujo de vapor a la atmósfera con mayor detenimiento.

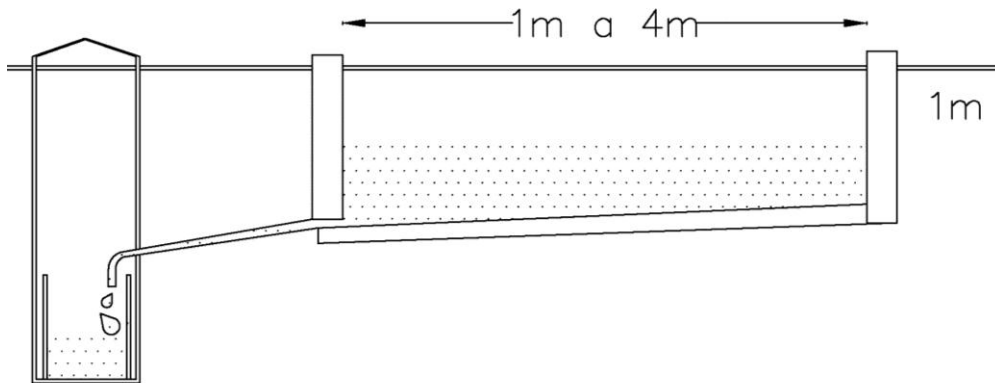
En la instalación de Lisímetros de este tipo, hay que evitar el cabeceo del tanque flotante; es decir que la flotación debe realizarse en forma erecta, A tal fin, el centro de gravedad debe quedar por debajo del centro de flotación, Asimismo, ocasionalmente un lado del tanque puede quedar más pesado que otro, recostándose de las paredes externas. Para eliminar los problemas de drenaje en el fondo, debe colocarse una capa de arena o grava y una batería de dos o tres tanques colectores comunicados al exterior por una tubería vertical, Al bajar el agua gravitacional, esta se extraerá mediante una bomba manual, introduciendo la manguera de succión por los tubos de drenaje. López (1970)

- ❖ Lisímetros de presión: Estos lisímetros permiten registrar las pérdidas de agua mediante cambios de presión. A tal fin se coloca el tanque sobre un grupo de mangueras flexibles llenas de un fluido, generalmente agua comunicada a un manómetro. Para las mangueras, se han probado diferentes materiales; entre ellos vinil, goma, nylon-butil, lona, etc. Se han probado también tripas de caucho de automóvil o colchones inflables de aire.

Los errores debidos a fricción son despreciables y el equipo es relativamente barato. Al igual que los lisímetros flotantes estos tienen problemas por flujo de calor. En este caso, con incrementos de temperatura hay un aumento en la presión del líquido, el cual se registraría como ganancia de peso. Por tal motivo hay que efectuar las correcciones necesarias. Pulido (2014).

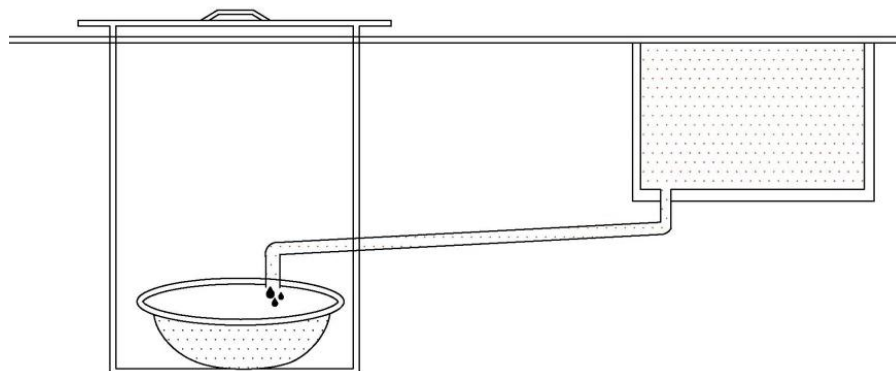
- ❖ Cajas lisimétricas: son a su vez los más comunes y se emplean sobre todo en agronomía. Consisten en una caja estanca que se rellena del material en cuestión, colocando en el fondo un lecho de gravas (ver Figura 2-10). En el fondo se instala un sistema de drenaje colector del agua infiltrada. La muestra de terreno resultada alterada por lo que la representatividad de la medida se ve afectada. Pulido (2014).

**Figura 2-10: Cajas lisimétricas (Elaboración Propia)**



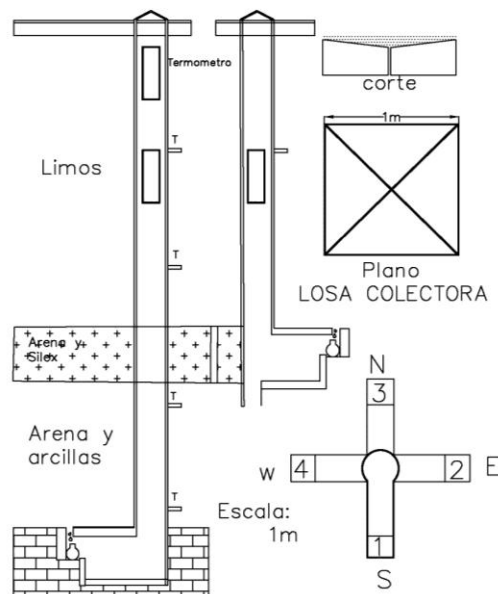
- ❖ Lisímetros monolito: la cubeta se construye alrededor de un bloque de terreno in situ, o bien el bloque de terreno se introduce, lo menos afectado posible, dentro de la caja lisimétrica. Las dimensiones de estos tipos de lisímetros son muy variables, pueden ser de 1 a 625 m<sup>2</sup>, y tiene forma cuadrada o rectangular (ver Figura 2-11). Suelen tener de 1 a 3 m de profundidad. Se suelen construir baterías de estos lisímetros, cada una con una peculiaridad y se completa el registro con una estación meteorológica completa. Pulido (2014).

**Figura 2-11: Lisímetro Monolito (Elaboración Propia)**



- ❖ **Lisímetros Complejos:** Con el fin de no alterar el terreno *in situ*, el lisímetro se coloca en una galería que parte de un pozo excavado (Figura 2-12) se puede colocar lisímetros, partiendo de un mismo pozo central, a diversas alturas y orientaciones; en general los valores que se miden son muy bajos, y no son representativos de la infiltración real. Todas estas instalaciones se puede hacer con un drenaje total o manteniendo un plano constante de agua a una cierta profundidad, generalmente de 1m. Pulido (2014).

**Figura 2-12: lisímetros complejos (Elaboración Propia)**



- ❖ **El UNlisitrón:** de acuerdo con González, Quintero, Florez y Tafur (2015a) este tipo de lisímetro de pesada se desarrolló en la Universidad Nacional de Colombia, para estimar el consumo de agua de plantas sembradas en contenedor. Aprovechar las condiciones como se



siembra el clavel en la sabana de Bogotá (ver Figura 2-13), en camas conformadas por dos hileras de contenedores.

**Figura 2-13: Instalación del Lisímetro de pesada “UNlisitrón” en las camas donde se siembra clavel.**



### 2.9.5 ALGUNAS APLICACIONES DE LOS LISÍMETROS

- Infiltración de Aguas Superficiales y su Interacción con las aguas Subterráneas.

Según Jarchenko (1966) este instrumento sirve para valorar procesos de infiltración mediante la determinación de la infiltración del agua lluvia y de riego; Estudios que buscaban estos objetivos fueron desarrollados por Jarchenko (1968), este estudio demostró que los lisímetros permiten observar la recarga dada la variabilidad espacial del suelo.

- Estudio del efecto de la profundidad del nivel freático sobre la humedad del suelo y los cultivos.

El aporte capilar que se produce desde el nivel freático puede ser evaluado usando lisímetros. Luo y Sophocleous (2010), mostraron que los lisímetros se pueden utilizar para cuantificar la contribución de la evaporación del nivel freático influenciado por una amplia gama de factores ambientales.

- Estudio de los procesos de migración o movimiento de las sales a través del suelo usando monolitos de suelo o Lisímetros

El uso de los lisímetros, en conjunto con la estrategia de monitoreo de la humedad y solutos totales a través de la instalación de TDR (Time Domain Reflectometry) a lo largo de la columna del suelo han podido determinar la evolución de la salinidad de los suelos.

➤ Transporte de solutos

Según Van Hoom, Katerji, y Hamdy (1997) el transporte de solutos en suelos es uno de los campos en donde la potencialidad de los lisímetros puede observarse de una forma bien extensa. Existen investigaciones que buscan establecer cuáles son los modelos más apropiados para describir el transporte de solutos no reactivos, entre los diferentes modelos existentes. Para el transporte reactivo como ocurre con la lixiviación de los fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, etc aplicados en el suelo; se busca determinar igualmente los parámetros de transporte que permitan después estimar que pasa con el movimiento de estos elementos a través del suelo, las concentraciones que se obtienen a diferentes profundidades y la evolución de las mismas a través del tiempo.

Este tipo de estudios es de una gran utilidad en todo lo relacionado con el efecto de la aplicación de agroquímicos en la agricultura y su incidencia en la contaminación tanto del suelo como de las aguas subterráneas, así como para describir apropiadamente cuales son las prácticas de remediación de suelos que pueden ser más eficientemente empleadas para su rehabilitación.

➤ Transporte de reactivos

Kelly, Bell y Johnstone (1998) llevaron a cabo experimentos con lisímetros para simular las condiciones no saturadas del suelo utilizando materiales de desecho contaminadas con Americio. El resultado muestra que la infiltración de residuos se ajusta a un patrón bimodal típico. Los Lisímetros también son ampliamente utilizados para investigar la liberación de contaminantes de residuos o muestras de suelo y para estudios de degradación de los residuos.

➤ Trazabilidad de fertilizantes

Herrera y Liedgens (2002) han llevado a cabo un experimento en trigo de primavera de 2 años, desarrollo científico se llevó a cabo en lisímetros para calcular las pérdidas de Nitrógeno (N) por lixiviación. Las pérdidas por lixiviación de N afectan negativamente la calidad del agua subterránea como lo expresan Antweiler, Goolsby y Taylor (1996) y Mitsch y Day, (2006). De acuerdo a Galloway, Alan, y Erisman (2008) la investigación es necesaria para optimizar el uso de N en toda la producción de cultivos. Cada lisímetro fue a prueba de agua, con doble pared de contenedor. La superficie interior del contenedor fue 1,00 m<sup>2</sup> y la profundidad de la columna de suelo fue de 1,10 m. El objetivo de este estudio fue calcular las pérdidas y trazabilidad de N por lixiviación en cada cultivo y durante los períodos de suelo desnudo de la rotación de cultivos, para relacionar estas pérdidas a la absorción de N de la cosecha principal y la final se estima la pérdida de N y la absorción del mismo durante estos períodos.

➤ Otras aplicaciones de los lisímetros

De acuerdo con González et al., (2015b) existen distintas aplicaciones de los lisímetros, entre ellas se encuentran las siguientes:

- Obtención de muestras de agua del suelo para las investigaciones de procesos químicos del agua.
- Comparación de los resultados de diferentes tipos de lisímetros.
- Mediciones de infiltración y la interacción con las aguas subterráneas
- Demanda de agua de las zonas agrícolas.
- Balances hídricos y de nutrientes para las zonas agrícolas.
- Predicción de filtración de agua de sitios contaminados.
- Obtención de indicadores de calidad de agua de filtración, para utilizarlos como valores de referencia para la validación de la predicción de las aguas de drenaje de otras áreas contaminadas.
- Investigación de la eficacia de los sistemas de sellado de superficie para pozos de áreas que fueron de explotación minera.
- Examinar los revestimientos de lodos de aguas residuales.
- Estudios sobre la calidad y cantidad de agua lixiviada, incluyendo la variación del nivel freático en zonas que han sido de explotación minera.
- Determinación de contaminantes liberados de materiales contaminados y modelación del transporte de lixiviado.

## 2.9.6 FACTORES QUE AFECTAN LA CONSTRUCCIÓN DE LISIMETROS

Según Hillel (1985) un lisímetro diseñado apropiadamente, adecuadamente llenado, expuesto y operado correctamente, constituye indudablemente el más preciso y seguro medio para determinar la evapotranspiración real de casi cualquier tipo de superficie de suelo. Los lisímetros pueden también producir fácilmente valores erróneos de evapotranspiración a menos que su construcción y operación llene ciertos requisitos. Los principales factores que afectan la representatividad de las instalaciones del lisímetro son:

### ❖ El suelo

- Condiciones Térmicas.

Según Pelton y Korven (1961), el almacenamiento y transferencia de calor en las paredes del lisímetro no deben ser diferentes de aquel que ocurre en el suelo adyacente si se desean obtener los mejores resultados. Si la distribución de agua en el lisímetro difiere de aquella del

suelo adyacente, la transferencia y almacenamiento de calor será afectada Tanner (1967). La representatividad térmica de un lisímetro puede ser probada determinando el flujo del calor dentro y fuera del lisímetro Tanner (1967), ello se puede realizar monitoreando con termostatos a lo largo del perímetro del contenedor.

➤ Relaciones de humedad.

Los lisímetros deben ser construidos en forma tal que sus relaciones de humedad correspondan estrechamente a aquellas, bajo condiciones naturales, Pelton et al., (1961). Por la naturaleza de su construcción, un lisímetro impide el flujo horizontal y distribución natural del agua, esto tiene dos efectos:

- a) Más agua puede ser aprovechable para evapotranspiración durante un prolongado período seco,
- b) El desarrollo del sistema radical de los cultivos que crecen en el lisímetro puede diferir de aquel que crece en el área adyacente natural.

➤ Condiciones físicas.

Idealmente, los lisímetros deben contener un perfil no disturbado. Esto es importante cuando se adelantan estudios de evapotranspiración real. En un perfil disturbado, la transmisión humedad, la retención de humedad, y la distribución radical es muy probable que sea diferente del perfil original y puede no ser representativo del cultivo estudiado. Van Bavel y Myers (1962) y Harroid (1966).

❖ **Vegetación**

➤ Altura.

Es importante mantener la vegetación en el lisímetro a nivel con la que se encuentra en el campo que lo rodea. La pérdida de agua será diferente si la vegetación del lisímetro es más alta que afuera.

➤ Densidad.

Cualquier discontinuidad entre el crecimiento del cultivo en el lisímetro y en el campo que lo rodea causará, por un cambio en la turbulencia del aire, una evapotranspiración no representativa en el lisímetro. Este error disminuye a medida que aumenta el área del lisímetro. Pruitt y Angus (1960).

### ❖ Área

Según Lopez (1970), Un área de paredes mayor que la superficie experimental y la forma de los lisímetros produce una limitante en la veracidad de los resultados obtenidos, llamado efecto lateral. Una manera de reducir el efecto de la relación entre la superficie de paredes y superficie experimental, es construir lisímetros con una superficie experimental mayor, incidiendo en los costos de construcción, funcionamiento hidráulico y para el caso de lisímetros de pesada, la medición del peso.

#### ➤ Forma del lisímetro

Pruitt y Angus (1960), presentan argumentos en los cuales favorece las formas circulares en los lisímetros. Ellos explican que hay pequeño efecto de pared proveniente del área de las paredes del lisímetro. Este efecto puede reducirse haciendo pequeña la relación de perímetro a área del lisímetro. Áreas circulares dan los valores más pequeños de esta relación. Puede también reducirse este efecto haciendo que el área del anillo formado por el recipiente y paredes de retención, más el espacio que los separe, es tan pequeña como sea posible comparada con el área encerrada.

Según González et al., (2015b) en los trabajo de Lopez (1970), Tzenova (1978), Grillo (1983), Howell et al. (1991) y Lanthaler (2004) se mencionan los siguientes errores y sugerencias para evitarlos en la construcción de lisímetros:

- Efecto oasis: los valores obtenidos están en función de la posición del lisímetro, lo que implica eliminar el aumento de disipación del calor latente debido a su posición. Por ello, se circunscribe el lisímetro en un área, lo suficientemente grande, rodeado del mismo cultivo.
- Efecto pared: se presenta por la imposibilidad de flujo lateral entre el lisímetro y las zonas aledañas, presentándose transferencia de calor en pequeña escala desde las paredes del lisímetro hacia el cultivo debido a calor latente.
- Alteración del suelo: al colocar el suelo en los lisímetros se modifican la retención de humedad, difusividad del calor, densidad, arreglo de los horizontes; por lo que es importante colocar las capas de suelo en el orden original, tratando de mantener igual la

densidad, debido a su relación directa con la compactación y a su vez con el desarrollo de las raíces así como a sus propiedades de retención de humedad.

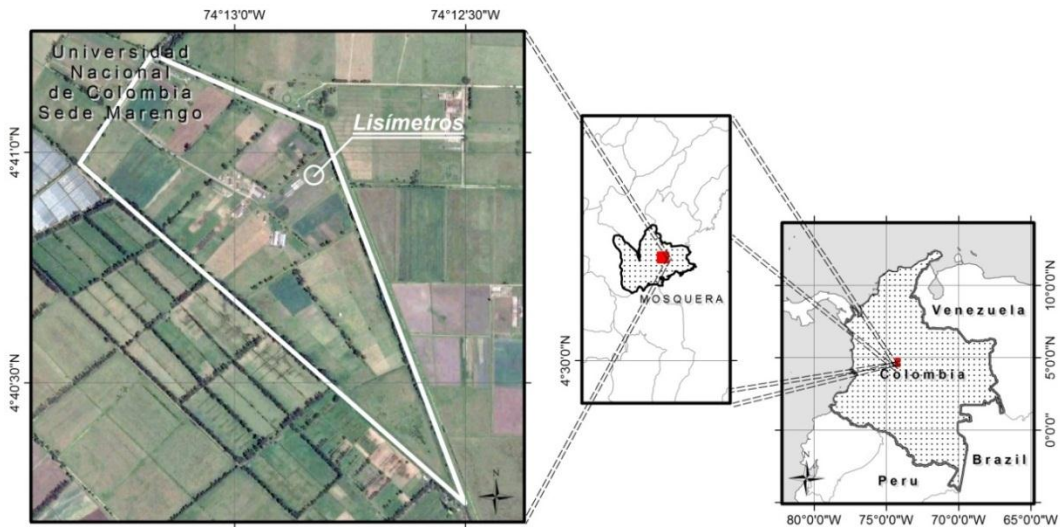
- Sensibilidad de las mediciones. Debido a que los cambios de humedad son pequeños, se requieren instrumentos con muy buena precisión. Es igual de importante garantizar una relación favorable entre la superficie con el volumen, por lo que se recomienda reducir la profundidad del tanque, teniendo en cuenta no limitar el desarrollo radical.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el lote 5 de las instalaciones del Centro Agropecuario Marengo (CAM) de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, ubicado en la sabana de Bogotá zona sur occidente (Km 14 vía Bogotá - Mosquera), cuyas coordenadas geográficas corresponden a 74°12' Longitud Oeste y 4°72' Latitud Norte (Figura 3-1). La zona en mención se ubica en la cuenca media - alta del río Bogotá, con características de zona de vida correspondientes a bosque seco montano bajo (bsmb), temperatura media de 13,1°C, humedad relativa media de 80,7 %, brillo solar diario medio 4,6 h, velocidad del viento 1,7 m.s<sup>-1</sup> y precipitación anual media de 680 mm (CAM, 2010).

El presente estudio se llevó a cabo en el marco del proyecto Lisímetro de pesada en campo como herramienta de ayuda en la toma de decisiones para aplicación de fertirriego en el cultivo de clavel financiado por COLCIENCIAS

**Figura 3-1: Ubicación del Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia - Ubicación de los lisímetros en el lote 5**



El ensayo se ubicó en una nave de 6,8 x 50 m, para un total de 340 m<sup>2</sup> de invernadero tradicional con estructura metálica, con ventilación lateral y cenital pasiva. Se contó con un tanque de reservorio de 8 m<sup>3</sup> de capacidad de almacenamiento como fuente de agua, filtrado y un sistema de fertirrigación.

### 3.1 MONTAJE DE INFRAESTRUCTURA

En la semana 25 de 2013 se iniciaron las obras de preparación del terreno en el lote cinco del Centro Agropecuario Marengo (CAM), finca de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá; ubicado en el km 14 vía Bogotá - Mosquera (Cundinamarca), a una altitud de 2543 msnm. Esta actividad se realizó utilizando un tractor con arado de disco y dos pases de rastra en un área de suelo de 50 m x 42m de ancho (2080m<sup>2</sup>).

#### 3.1.1 OBRA DE INVERNADERO Y CAMAS DE CULTIVO

En la semana 25 de 2013 se inician las obras de adecuación y montaje de invernaderos y camas de cultivo, para lo cual se contrató a la empresa Alma Ltda.

Se adecuaron dos naves de 6,8 x 50 m (340 m<sup>2</sup>) de invernadero tradicional con estructura metálica, ventilación lateral y central pasivas (Figura 3-2). El plástico para la cubierta del invernadero fue donado por la empresa Ciplas S.A.

**Figura 3-2: Naves de invernadero tradicional con estructura metálica - Ubicación del invernadero en el lote 5**



Dentro de estas naves se construyeron 12 camas en madera levantadas a 0,4 m del suelo, con 15 m de largo por 0,7 m de ancho (Figura 3-3). Cada cama cuenta con dos contenedores de 0,25 m de ancho y 0,15 m de profundidad cada uno. Estas obras finalizaron en la semana 30 (22 de julio de 2013) con entrega del módulo de invernadero cubierto y camas con sustrato listas para la siembra el cultivo. El sustrato utilizado fue una mezcla de cascarilla de arroz reutilizada, cascarilla nueva y compost de residuos vegetales en un 60, 30 y 10%, respectivamente. Este sustrato fue donado por la empresa C.I. Florval.



**Figura 3-3: Camas de Cultivo**



### **3.1.2 OBRAS DE ACOMETIDA ELÉCTRICA**

Se realizó la instalación de una caja de control la cual distribuye la electricidad a las seis bombas utilizadas en el proyecto, en la que se permite el encendido de forma automática o manual. A su vez, se adecuó una toma eléctrica para conectar los lisímetros de pesada y sensores de radiación solar.

### **3.1.3 INSTALACIÓN DE SENSORES CLIMÁTICOS E INFORMACIÓN METEOROLÓGICA.**

Para medir temperatura y humedad relativa (HR) dentro del invernadero, se colocó desde la semana 35 un datta logger de la marca Log Tag Analyzer el cual registra datos cada 10 minutos.

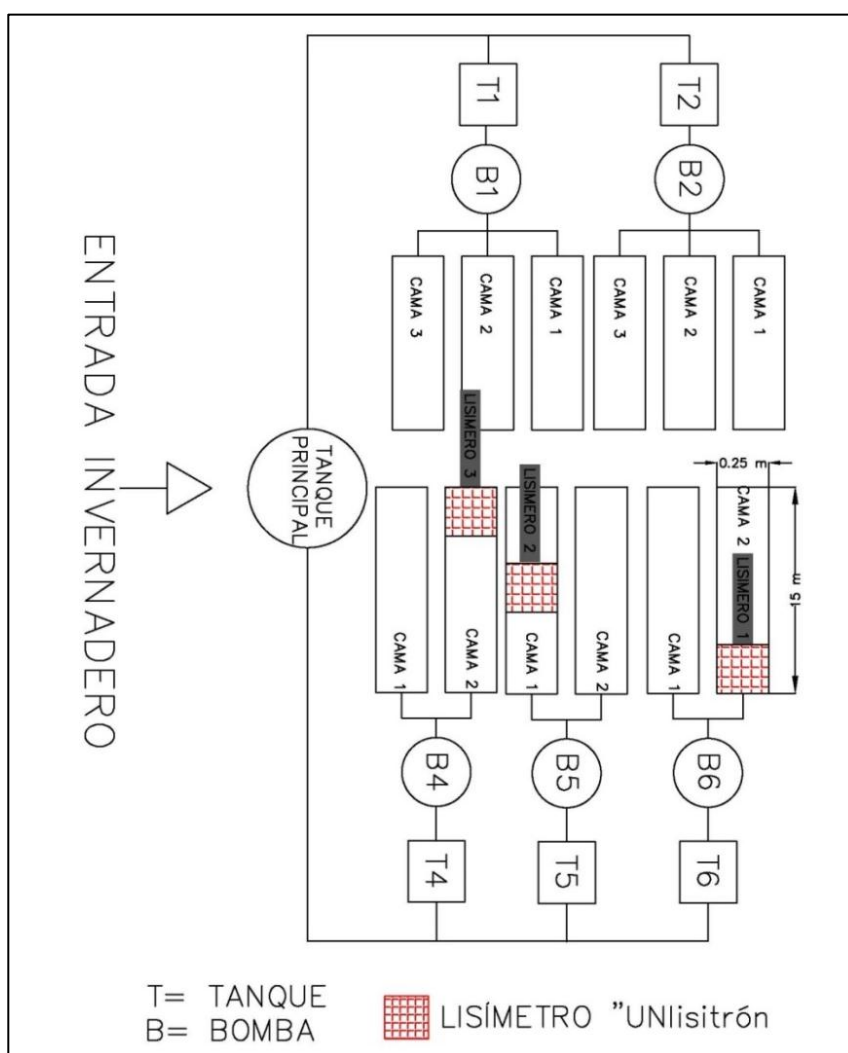
Se instalaron los sensores de radiación global y radiación fotosintéticamente activa marca LICOR. Cada uno toma datos cada 5 minutos, sin embargo por problemas en la instalación sólo se tienen datos precisos de ambos sensores a partir del 6 de noviembre del 2013. Se debe tener en cuenta que los equipos mencionados anteriormente se instalaron dentro del invernadero, por lo cual, los datos que se tienen dentro del mismo son de temperatura, humedad relativa y radiación.

De acuerdo con lo expresado anteriormente y teniendo en cuenta que estas variables limitan el uso de diferentes fórmulas empíricas de  $ET_o$ , también se recurrió al uso de la estación meteorológica de Tibaitatá las cual registra distintas variables climatológicas.

### 3.1.4 UBICACIÓN DE LISÍMETROS “UNLisitrón”

En la semana 30 del año 2013 se realizó la instalación de los respectivos lisímetros en tres camas del cultivo como se muestra en la Figura 3-4. El lisímetro “UNLisitrón” consiste de un contenedor que tiene agujeros y desnivel de 1% para salida del lixiviado; con dimensiones de 1 m de largo por 0,25 m de ancho y 0,15 m de profundidad. Cuenta con un recipiente recolector de lixiviado con tapa de 0,25 m de lado por lado y 0,15 m de alto. La estructura está realizada en fibra de vidrio, para evitar su oxidación y reducir el peso al utilizarlo. El contenedor fue cubierto con una geomembrana de 0,5 m<sup>2</sup> (1 m x 0,5 m), para poder aplicar el sustrato y evitar que los agujeros de drenaje de lixiviados se taponaran al llenarlo y aplicar el fertirriego.

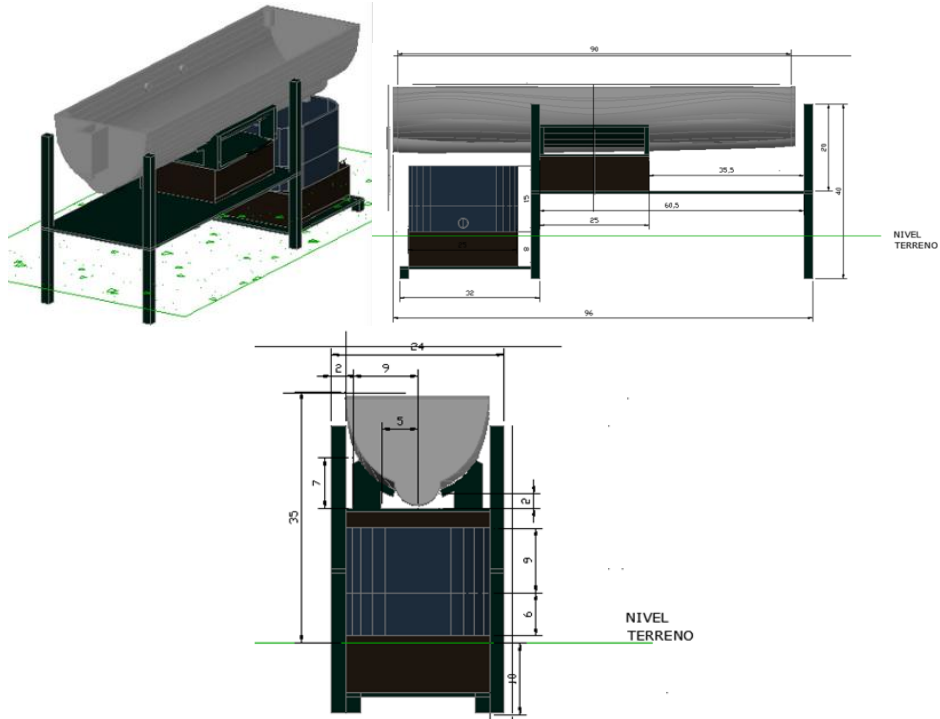
Figura 3-4: Ubicación aleatoria de los lisímetros en el invernadero (Elaboración Propia)



En tres camas se adecuó un metro del contenedor para la ubicación del lisímetro y su recipiente contenedor. Cada uno cuenta con una balanza que mide el volumen aplicado y drenado. La

balanza del lisímetro pesa hasta 10 kg de fertilizante aplicado y la balanza del recipiente de drenaje pesa hasta 4 kg de volumen drenado. Adicionalmente se realizó nivelación del suelo y se colocó una base en hierro de 1m de largo por 0,3 m de ancho para la colocación de la estructura, esto es presentado en las Figura 3-5 y Figura 3-6.

**Figura 3-5 Diseño de Sistema de Lisímetro. (Elaboración Propia)**



**Figura 3-6: Montaje de lisímetro en invernadero.**



Lisímetro de pesada instalado en cama de cultivo, consta de 1. Contenedor, 2. Balanza contenedor, 3. Balanza recipiente lixiviado, 4. Electrónica de medición y transmisores inalámbricos

### 3.1.5 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

El agua se tomó de la planta de tratamiento del CAM, la conducción de agua se realizó en tubería de 1 y 1/4 de pulgadas. Esta tubería principal fue conectada a un tanque de reserva de agua con capacidad de 8 m<sup>3</sup>, facilitando el almacenamiento y confiabilidad del suministro de agua. Este tanque fue prestado por la empresa Brenntag Colombia S.A. El diseño experimental condujo a la instalación de un sistema de bombeo independiente para cada una de las camas tanto de la cama testigo como de las replicas del experimento. Para ello, se construyeron las respectivas bases en concreto con sus correspondientes sistemas de seguridad en jaulas de mallas, al interior de las cuales se instaló el hidroneumático (ver Figura 3-7) que eran operados con un programador automático de riego (controlador), tipo jardín por cuanto los requerimientos de fertirriego son pequeños. (Ver Figura 3-8)

**Figura 3-7: Bomba que impulsa el agua del tanque de reserva.**



En el proyecto se utilizan cinco bombas de 1/2 HP, distribuidas de la siguiente forma: Tres se adecuaron con sus respectivos accesorios para que cada una aporte el riego de dos camas de cultivo (Figura 3-7), las cuales son manejadas según el criterio de riego dado por el lisímetro de pesada a través de controladores de riego (ver Figura 3-8). Otra motobomba de 1/3 HP se utiliza para impulsar el agua del tanque de reserva a los tanques de mezcla y para la manguera con poma para hidratación del cultivo (ver Figura 3-9).

**Figura 3-8: Controlador de riego**



**Figura 3-9: Bomba que impulsa el agua desde el reservorio a cada uno de los equipos de bombeo que riegan las camas respectivas.**



### **3.1.6 MATERIAL VEGETAL**

Para el ensayo se utilizó miniclavel estándar cv. Rony, de color rojo, proveniente de esquejes con raíz, suministrados por Queens Flowers (Figura 3-10), El sustrato utilizado fue una mezcla de cascarilla de arroz reutilizada, cascarilla nueva y compost de residuos vegetales en un 60, 30 y 10%, respectivamente. Este sustrato fue donado por la empresa C.I. Florval.

Se construyeron seis camas (15 m x 0,75 m) elevadas, compuestas por dos contenedores plásticos de 0,25 m cada uno. Se sembraron 360 plantas por cama, para una densidad de siembra de 24,7 plantas.m<sup>2</sup> de invernadero. Durante las dos primeras semanas de siembra se regó solamente con agua y, en seguida, se aplicó la fórmula de fertirrigación comercial para la fase vegetativa hasta la semana 16 de cultivo y posteriormente se realizó el cambio de fórmula de fertirriego para la fase productiva, empleándose el sistema de riego por goteo instalado.

**Figura 3-10: Material Vegetal**





### 3.1.7 FERTIRRIEGO

La distribución del sistema de riego correspondió a dos líneas de goteo de 16 mm por cama, con goteros tipo auto-compensado y caudal de 1,1 L. h<sup>-1</sup> incorporados cada 15 cm. El agua proveniente del distrito de riego la ramada es previamente filtrada en la planta de tratamiento de agua del Centro Agropecuario Marengo bombeándose desde el cabezal de control hasta el tanque de almacenamiento de 8 m<sup>3</sup>. A partir del tanque de almacenamiento se envía a los tanques de preparación de la solución fertilizante presentes en cada una de las bombas alimentadoras del fertirriego de todo el experimento.

La Tabla 3-1 presenta la fórmula de un programa de fertilización comercial utilizada comúnmente en el cultivo de mini clavel sembrado en sustrato en la Sabana de Bogotá y usadas en el proyecto. Las soluciones fertilizantes fueron suministradas por la compañía Brenntag Colombia S.A.

**Tabla 3-1 Fórmula fertirriego comercial**

ELEMENTO	FÓRMULA VEGETATIVA (ppm)	FÓRMULA PRODUCTIVA (ppm)	FUENTE
N	220	165	K(NO <sub>3</sub> ); Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ; 5Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ; NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
P	30	25	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ; CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> *H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
K	130	190	KNO <sub>3</sub>
Ca	120	120	5Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Mg	40	40	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Fe	3	2,5	EDTA Fe 13%; EDDHSA Fe 13%
Zn	0,5	1	EDTA Zn 15%
Cu	1	1	EDTA Cu 15%
B	2	1,5	Na <sub>2</sub> B <sub>8</sub> O <sub>13</sub>
Mo	0,1	0,1	Molibdato de amonio

La frecuencia de riego fue menor a un día, en función de los pulsos de riego aplicados, con volumen diferencial en el suministro de agua dependiendo de la semana de desarrollo del cultivo. A partir de la semana cinco, después de la siembra, hasta la semana 14 el promedio de solución nutritiva suministrado fue de 60 litros-cama-experimental- día<sup>-1</sup>; en el periodo comprendido entre la semana 15 a 26 se incrementó a 80 litros -cama-experimental- día<sup>-1</sup> y se finalizó con un promedio de 50 litros -cama experimental-día<sup>-1</sup>.

### 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Este trabajo consta de dos tratamientos, los cuales corresponden a un testigo comercial (cama sin lisímetro) y a un sistema de siembra con lisímetro (situados aleatoriamente a lo largo de la cama del cultivo). Cada tratamiento contó con tres repeticiones, utilizando una cama como repetición en un diseño de bloques completos al azar como se presentó en la Figura 3-4.

Los lisímetros “UNlisitrón” fueron distribuidos aleatoriamente con relación a la longitud, las mediciones referentes a la evapotranspiración real del cultivo comprenden desde la fecha de siembra el 17 de agosto de 2013 hasta el primer el primer pico de producción que inicio el 14 de enero de 2014 y finalizó el 28 de febrero de 2014, es de aclarar que el equipo siguió registrando datos hasta el segundo pico de producción, el cual inició el 4 de junio de 2014 y finalizó hasta el 11 de agosto de 2014. Como el objetivo de la tesis es determinar el Kc hasta el primer pico la información adicional se utilizó para establecer una base de datos que permita ir complementando el estudio de la ET del cultivo en las otras fases del mismo.

Es importante mencionar que se construyeron 12 camas de miniclavel con un área de 11,25 m<sup>2</sup> (15 m x 0,75 m, 0,25-0,25-0,25 de cultivo-aireación-cultivo) en un módulo de invernadero ubicado en el centro agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia. El material vegetal empleado fueron esquejes con raíz de miniclavel variedad Rony (ver Figura 3-4 y Figura 3-11) los cuales se sembraron en sustrato compuesto de 60,30 y 10% de cascarilla de arroz reutilizada, cascarilla de arroz nueva y compost, respectivamente.

**Figura 3-11: Densidad de 14 plantas por lisímetro**



### **3.2.1 MANEJO INTEGRADO DEL RIEGO**

Desde el inicio del cultivo se realizaron de tres a seis refresques diarios que consisten en la aplicación de agua al follaje, por medio de manguera con poma. Esta actividad se realizó diariamente hasta la semana cinco, es decir, 35 días después de siembra (dds). Posteriormente, se aplicó fertirriego de acuerdo al consumo. La aplicación del fertirriego se realizó siguiendo la estrategia tradicional de prever entre 30 y 50% de drenaje del fertirriego. El fertirriego inició el 28 de agosto de 2013 (semana 35 del año).

El fertilizante se aplica y se mide el volumen drenado, la CE y pH en el emisor y en la solución salina lixiviada. Este volumen de fertirriego se reparte en tres y cinco pulsos al día por cama, iniciando a las 8 am y terminando hacia las 2 pm.

Los pulsos pueden variar en cantidad, hora y duración en el día, de acuerdo con evapotranspiración (ETc), humedad relativa (HR), temperatura (T), estadio fenológico de las plantas, porcentaje de drenaje, pH y CE. En las camas de cultivo con la utilización del lisímetro de pesada además de lo anterior se tendrá en cuenta el peso de la solución en el dispositivo y el peso en el drenaje para tomar medidas de reposición del fertirriego en tiempo real.

Desde el 23 de agosto de 2013 (semana 34 del año 2013) se inició la aplicación de fertilizante en forma de drench como complemento a la utilización del sistema de fertirriego por goteo en estadios iniciales del cultivo, hasta la semana 12, cuando el cultivo cubrió completamente el contenedor y se presentaron menos pérdidas por evapotranspiración.

### **3.2.2 MONITOREO INTEGRADO DE RIEGO Y FERTILIZACIÓN - MIRFE**

El Programa Manejo Integrado de Riego y Fertilización (MIRFE), el cual es el encargado de llevar el control del fertirriego la medición del volumen de riego y drenaje a diario, junto con la CE y pH obtenido del emisor y la solución drenada.

Los valores esperados del emisor en cuanto a CE es de 1,8 a 2 dS m<sup>-1</sup> y pH entre 5,5 y 6,5. Para el drenaje la CE oscila entre 1,4 y 2,2 dS m<sup>-1</sup> y el pH entre 6 y 7,5. El porcentaje de drenaje esperado debe permanecer entre 30 y 50 %. Adicional a esto se realizan aforos semanales de los goteros en la cama lisímetro colocando tres tarros en la cama ubicados al inicio, medio y final de la cama, para verificar los caudales de los goteros y revisar la uniformidad de fertirriego en las mismas.

### **3.2.3 MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES - MIPE**

Los problemas fitosanitarios se manejan con el esquema de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) por medio de trampas y monitoreos en campo. Se realiza una vez por semana, revisando los lados de la cama por camino. Los principales blancos biológicos a identificar en cultivo de miniclavel son: Ácaros, Trips, áfidos, trozadores, cogolleros, babosas, Cladosporium, Botrytis y fusarium (Fusarium oxysporum y Fusarium roseum). La empresa Bayer S.A. donó algunos de sus productos de su catálogo para el control sanitario para el cultivo de clavel.

### **3.2.4 PINCH**

Esta labor se realizó a la semana seis el día 26 de septiembre de 2013 (semana 39). Consistió en eliminar la parte apical del tallo principal, entre el sexto y séptimo par de hojas verdaderas desde la base hacia la parte superior del tallo, con el propósito de estimular el crecimiento de los brotes



laterales. Se espera tener entre 6 y 7 brotes florales. Posterior al pinch se realiza la aplicación de un “sellante”, que sirve para evitar problemas fitosanitarios por hongos.

Es necesario observar el crecimiento de los tallos y garantizar su crecimiento vertical por medio de la labor denominada encanaste, que mejora las condiciones de crecimiento de tallos.

### **3.3 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO**

Cada uno de los lisímetros mide las variaciones de peso en un sistema cerrado, es decir, que continuamente se mide la pérdida de masa de agua, esto con el fin de estimar al día la evapotranspiración real del cultivo, para luego compararla con la Evapotranspiración de referencia del mismo estimada a partir de variables meteorológicas y así poder estimar el coeficiente de cultivo  $K_c$ .

#### **3.3.1 EQUIPO LISÍMETRO DE PESADA “UNlisitrón”**

La construcción de los equipos a instalar en el ensayo comercial y en el semi-comercial se inició el 17 de mayo de 2013 (semana 20). La información correspondiente utilizada para el desarrollo del presente trabajo fue solamente la correspondiente al ensayo semicomercial en las instalaciones del Centro Agropecuario Marengo. Desde agosto de 2013 se realizó el montaje del equipo y se inició con su funcionamiento.

Para corroborar el correcto funcionamiento de los equipos en ambos ensayos y verificar la validez de los datos registrados se tiene acceso a una dirección web para el ensayo semi-comercial y el comercial, de donde se puede verificar el comportamiento del riego y del drenaje desde cualquier punto que tenga acceso a internet.

Con los datos obtenidos se estudiaron las metodologías para definir láminas de riego y precisar una estrategia de manejo para la aplicación de fertirriego y hacer de esta manera un uso más racional del agua y del fertilizante aplicado en los sistemas hidropónicos en sustrato.

Conforme a lo descrito anteriormente el hecho de aplicar menores cantidades de agua y fertilizante en el tratamiento con lisímetro, se espera disminuir el impacto ambiental y económico en los diferentes sistemas productivos relacionados.

##### **3.3.1.1 CALIBRACIÓN CELDAS DE CARGA**

Los contenedores son emplazados sobre balanzas que funcionan mediante sensores; para cuyo efecto se emplean celdas de carga que generan una salida eléctrica correspondientemente calibrada con la masa del objeto que se está pesando. Una celda de carga consiste en un puente resistivo wheastone, que es una arreglo de 4 resistencias eléctricas del mismo valor excitadas por

un voltaje externo en estado de equilibrio, es decir que su salida es 0 V en ausencia de carga o masa. Al variar la masa o el esfuerzo aplicado a la celda de carga, la resistencia asociada a la carga cambia su valor produciendo un desequilibrio en el puente que genera una salida de voltaje.

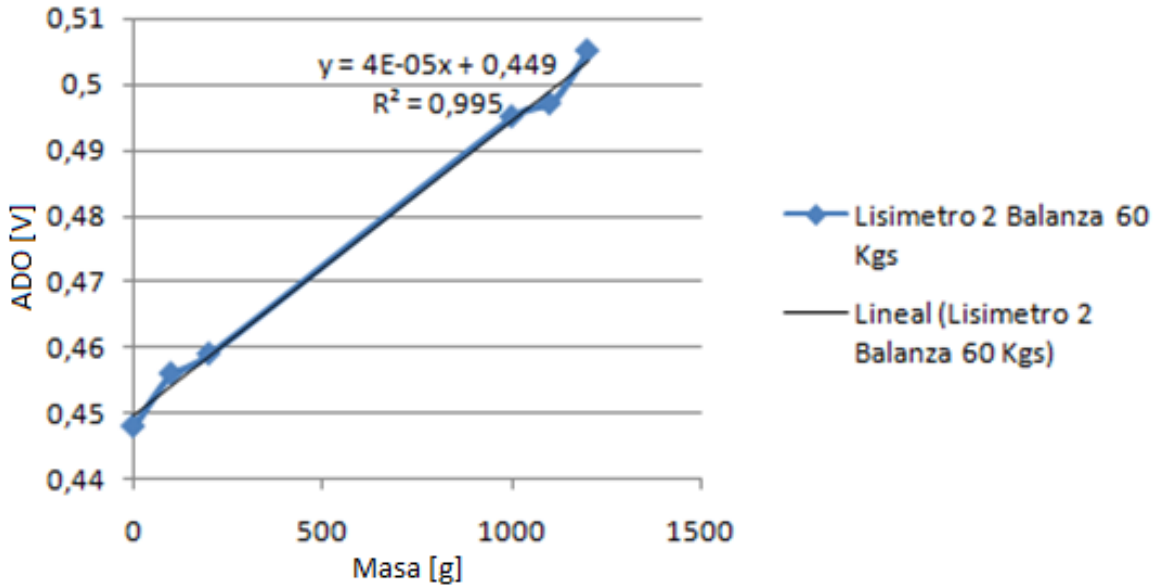
Esta salida es proporcional al voltaje de excitación y a la masa aplicada. El estándar para las celdas de carga es una salida de 2 mV/V. Esto significa que si se excita la celda de carga con 10 V y se aplica una masa de dos kg, se tendrá una salida de 20mV, si se aplicara 5 kg se tiene una salida de 50 mV. Un circuito electrónico programable se debe ajustar para una correspondencia inicial entre el valor de voltaje medido y la masa aplicada (calibración). El sistema debe calibrarse con una masa de un valor conocido patronado, dadas las imprecisiones que pueda tener las resistencias del puente de wheastone, la celda de carga o el circuito de instrumentación electrónica. La salida de la celda de carga es lineal, es decir que se pueden calibrar con una sola masa conocida. La Tabla 3-2 y la Figura 3-12 muestran la calibración de las balanzas usadas en el UNLisitrón.

Para la calibración entonces se toma el valor de salida de voltaje en ausencia de masa como el primer punto de voltaje (0 gramos, voltaje inicial), luego se aplica una masa de valor exacto conocido para una segunda pareja de puntos (masa conocida, voltaje medido) y se obtiene la pendiente de esta línea. Ésta pendiente se aplica para cualquier valor de tensión medido con el fin de traducir el valor de tensión a un valor de masa. La exactitud y Repetibilidad depende de la implementación del circuito de medición.

**Tabla 3-2: Calibración por Sistema de Lisímetro**

<b>LISIMETRO</b>				
<b>Balanza 60Kg</b>				
<b>Masa [g]</b>	<b>CIRCUITO AMPLIFICADOR OPERACIONAL PARA INSTRUMENTACIÓN DE ALTA GANANCIA - AD620 [V]</b>	<b>Sumatoria [V]</b>	<b>CIRCUITO ELECTRÓNICO AMPLIFICADOR OPERACIONAL J-FET (J-FET TECNOLOGÍA TRANSISTOR DE EFECTO DE CAMPO) - LF347 [V]</b>	<b>CONVERSIONER ANÁLOGO DIGITAL - ADO [V]</b>
0	3,49	-0,904	1,07	0,423
100	3,65	-0,88	1,233	0,489
200	3,67	-0,876	1,253	0,497
1000	3,68	-0,872	1,276	0,506
1100	3,71	-0,866	1,294	0,513
1200	3,73	-0,863	1,303	0,521
<b>Balanza 6kgs</b>				
<b>Masa [g]</b>	<b>AD620 [V]</b>	<b>Sumatoria [V]</b>	<b>LF347 [V]</b>	<b>ADO [V]</b>
0	0	1,489	0,217	0,085
100	0,071	1,501	0,26	0,102
200	0,132	1,513	0,307	0,12
1000	0,614	1,605	0,772	0,305
1100	0,675	1,617	0,818	0,324
1200	0,736	1,629	0,861	0,341

Figura 3-12: Balanza ADO para 60 Kg



Es importante mencionar que la Figura 3-12 muestra la relación obtenida entre la masa y el convertor análogo digital (ADO), el cual, es equivalente a un medidor de voltaje (voltímetro) y resulta en la transducción de masa en voltaje a través de la celda de carga.

### 3.4 SISTEMA DE TOMA DE DATOS

Un equipo del Sistema Lisímetro consiste en un sistema de medida para las variaciones de masa. Cada lisímetro tiene dos contenedores a los que se les mide la masa mediante sensores, Celdas de Carga (Zemic 2[mv/V] [kg]). Estas celdas de carga tienen una resolución análoga de alta precisión. Se usa un sensor para el rango de 50 kg en el contenedor de la planta y un sensor de 9 kg para el contenedor del lixiviado. Cada sensor mide variaciones de masa del orden de 2 kg, ocasionada por la aplicación de agua.

Estas celdas permiten crear un instrumentación de medida de masa y funcionan como balanzas de medida para el peso de los contenedores, tal como se aprecia en la Figura 3-13 y Figura 3-14. El sistema es alimentado con Energía AC 110V y tiene una UPS de 1000W de soporte.

La señal obtenida de los sensores Celdas de Carga es ingresada a un sistema de medición inalámbrica, que las instrumenta y calibra a un valor digital de masa para enviarlo luego por un radio transmisor, que es un Xbee® S2 de 2.4 GHz, como el que se observa en la Figura 3-15. Un Xbee® es un dispositivo electrónico diseñado y fabricado por Digi International que tiene integrado un módulo microcontrolador y un radio de comunicación implementado bajo el protocolo de comunicación inalámbrica Zigbee IEEE 802.15.4-2003.

Figura 3-13: Equipo de medición del Sistema Lisímetro "UNlisitrón"

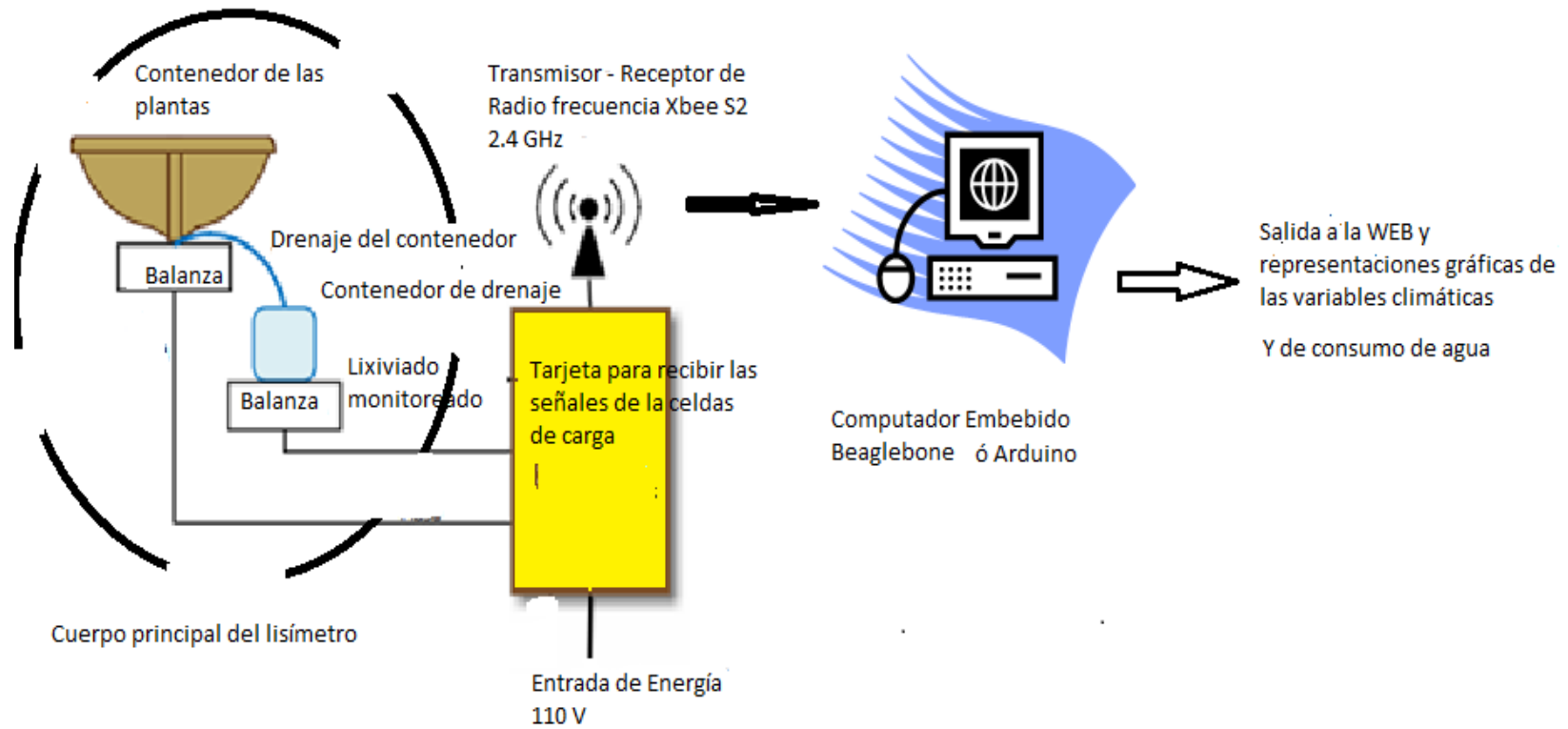
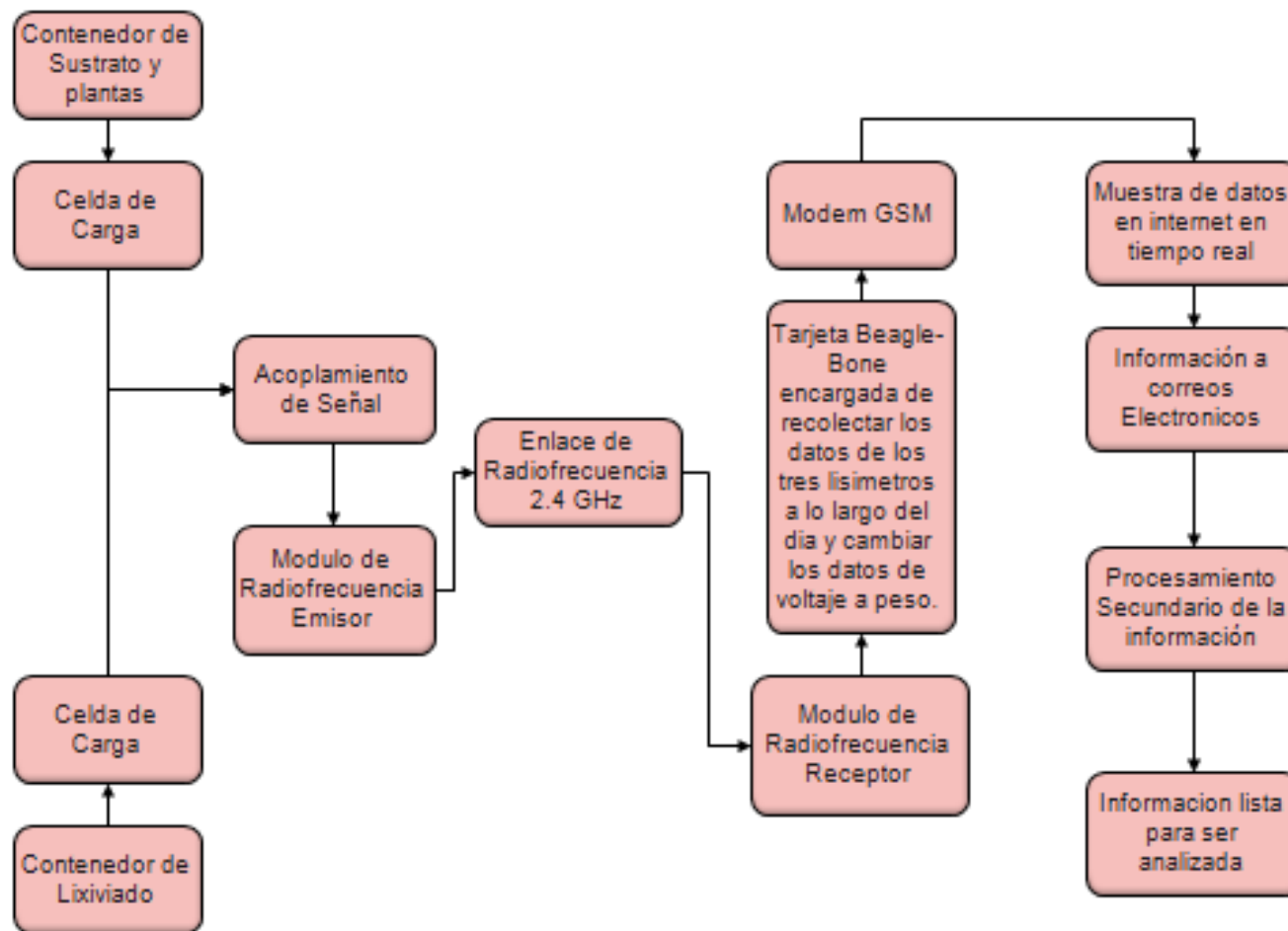


Figura 3-14: Descripción Gráfica mediante diagrama de bloques alternos del funcionamiento del lisímetro “UNlisitrón”

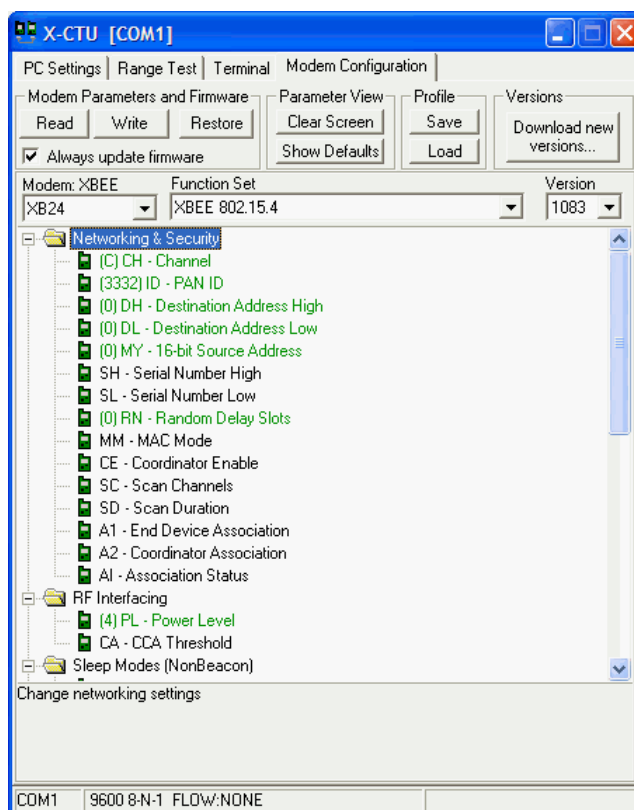


**Figura 3-15: Radio transmisor y receptor con ADC 10 Bits Digitales I/O 2.4GHz Alcance (50 metros)**



Se eligió este protocolo de comunicación inalámbrica porque es uno de los más robustos, permite creación de mallas de varios Xbees® y su configuración es rápida y sencilla, gracias al software X-CTU que suministra DIGI. La ventana de configuración se observa en la Figura 3-16. Se configuraron unos Xbees® como puntos finales de medición y uno como receptor, para enviar la señal medida por comunicación serial UART al concentrador de datos.

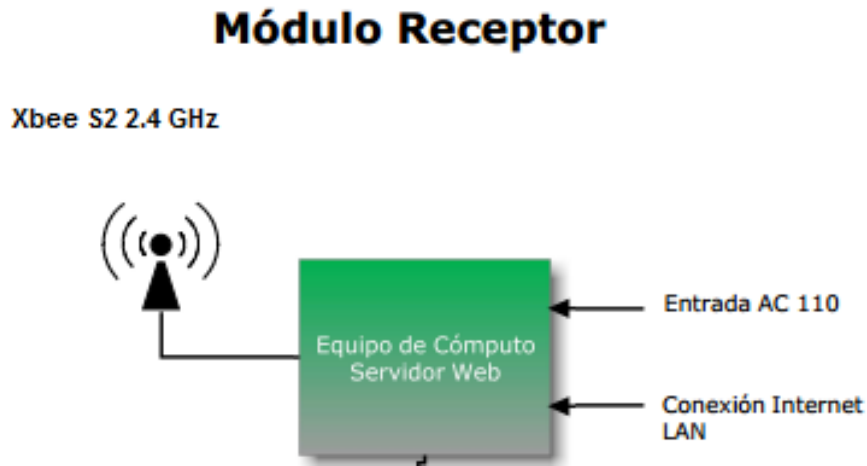
**Figura 3-16: Software de Configuración X-CTU**



La señal analógica de las celdas de carga es digitalizada por el ADC (Convertor Análogo Digital) del Xbee® que tiene una resolución de 10 bits y en voltaje de 0.001V. Este sistema envía los datos a un concentrador, cómo el que se ve en el esquema de la Figura 3-17 que consiste en un Equipo de

Cómputo Beaglebone White (Embebido) que tiene una memoria FLASH de 16 GB (ver Figura 3-18), un procesador ARM 1 GHz y una memoria RAM de 512 MB, conexión LAN, USB HOST y puertos digitales I/O.

**Figura 3-17: Módulo Receptor con Sistema de Cómputo, servidor WEB y conexión a Internet**



**Figura 3-18: Sistema de Cómputo Embebido Beaglebone White**



Este sistema fue programado en el sistema operativo Linux (software libre): Angstrom (versión 2012 para ARM). Este sistema embebido tiene programados Scripts en Python 2.7 para la recepción de los datos desde el radio Xbee® y almacenamiento de los mismos, en la memoria interna del embebido. Este Equipo de Cómputo tiene programado también un Servidor Web: Lighttpd que permite acceder a través de una conexión a internet remota a los datos que el equipo esta almacenando, para ser descargados y analizados con otras herramientas de software. Dentro del servidor se implementó una página Web Amcharts desarrollada en Javascript, para la visualización y comparación de los datos en tiempo real.

Para acceder a esta página Web se requiere conocer la dirección IP pública a la que está conectado el Equipo de Cómputo. Para lograr esto se le programó un servidor de correo SMTP automático que envía el archivo de datos cada vez que el sistema es reiniciado junto con su dirección IP pública del embebido. El sistema accede a internet a través de una conexión LAN, hecha a través de un router conectado a un Modem de Internet 3G. Este sistema se utiliza por sus ventajas; bajo consumo de energía (5-10 W) mientras un computador portátil consume aproximadamente 100 – 120 W, facilidad para programar así como para usar sus puertos de comunicación serial que permite una comunicación directa con el radio receptor. Para lograr los objetivos de esta tesis se instalaron 3 equipos de medición, los cuales envían datos al concentrador (Embebido), como se observa en la Figura 3-19

Los tres sistemas Lisímetros se instalaron en un invernadero, siguiendo un proceso aleatorio para seleccionar su ubicación a lo largo de las camas de 15 m, que permite que sus medidas sean referencia para la evapotranspiración del cultivo en general, midiendo el agua evapotranspirada del contenedor por las pérdidas de masa del sistema. La visualización de los datos remotamente se observa en la Figura 3-20.

**Figura 3-19: Sistema Lisímetro completo para la toma de datos en Marengo**

### SISTEMA LISÍMETRO

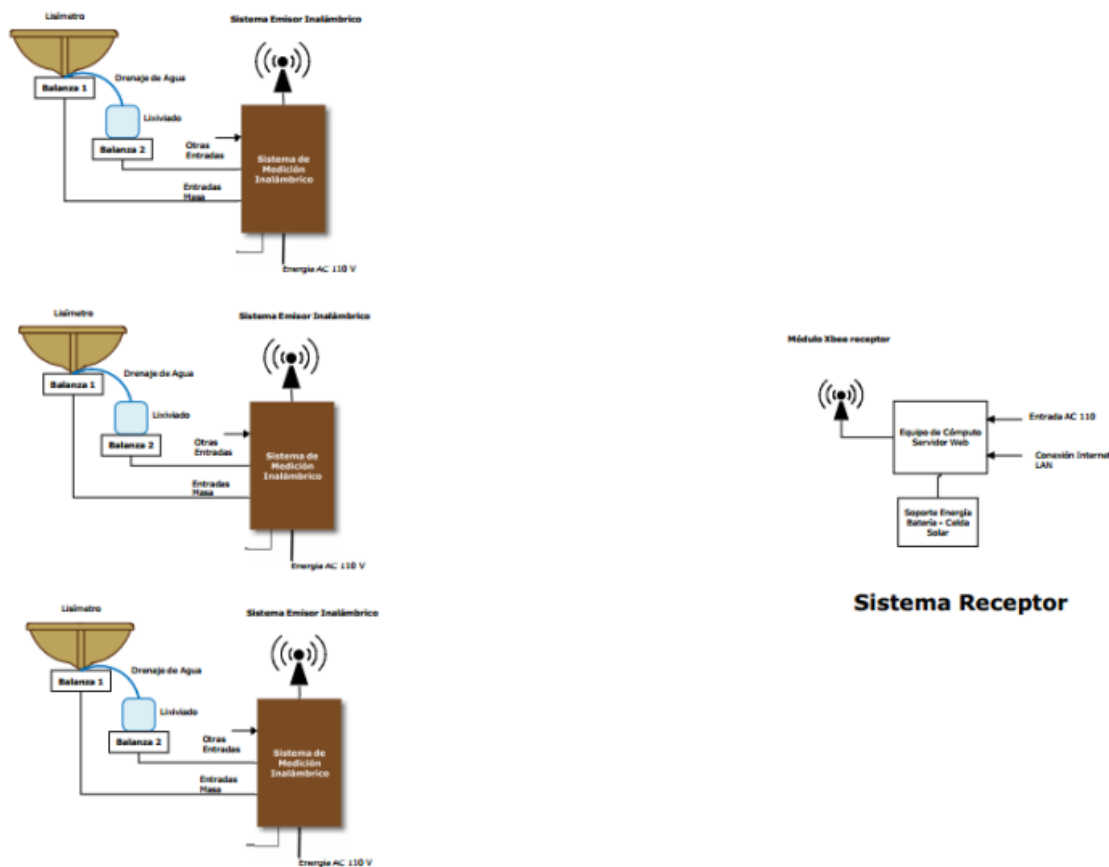
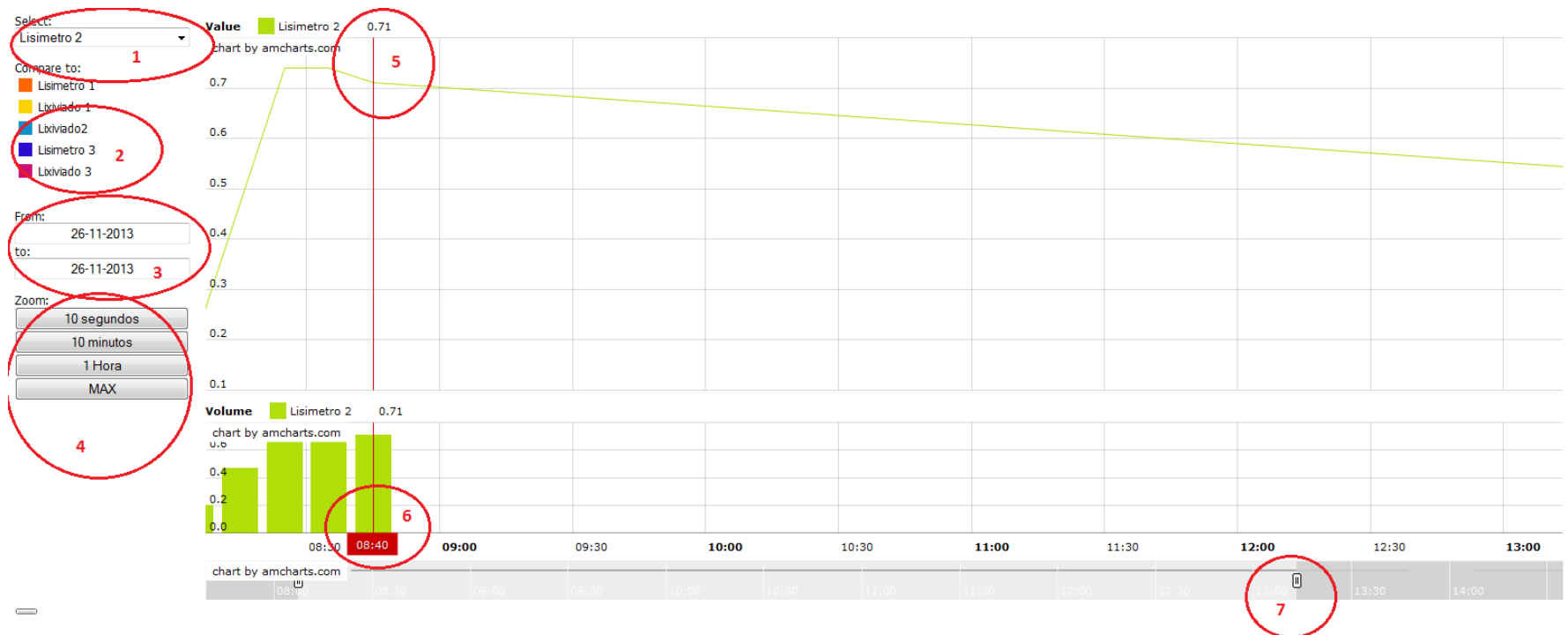




Figura 3-20: Interfaz acceso remoto a medición.



De acuerdo a la Figura 3-20, esta presenta la información obtenida de la página WEB desarrollada por el equipo técnico para mostrar la información en tiempo real, los círculos representan lo siguiente:

1. Selección de sensor de masa: Al seleccionar aparece un desplegable que permite elegir el contenedor o recipiente de lixiviado que se quiere graficar.
2. Selección de Comparación de gráficas: Se puede comparar la gráfica seleccionada contra unos de estos contenedores o recipientes de lixiviado. La comparación se hará en porcentajes para efectos de análisis
3. Visualización de fecha que se está graficando: Solo se puede graficar un día por el tamaño de datos.
4. Selección de periodo de tiempo que se quiere visualizar: Se puede elegir uno de estos botones para hacer un zoom en tiempo de un periodo que se quiera visualizar.
5. Se puede poner el cursor sobre una hora para visualizar el valor promedio que tuvo la gráfica durante ese momento. En este espacio aparece el valor, para este caso 0.71
6. Es una barra que indica un promedio de masa para ese tiempo.
7. Herramienta de la selección del tiempo o momento que se desea visualizar en el monitoreo.

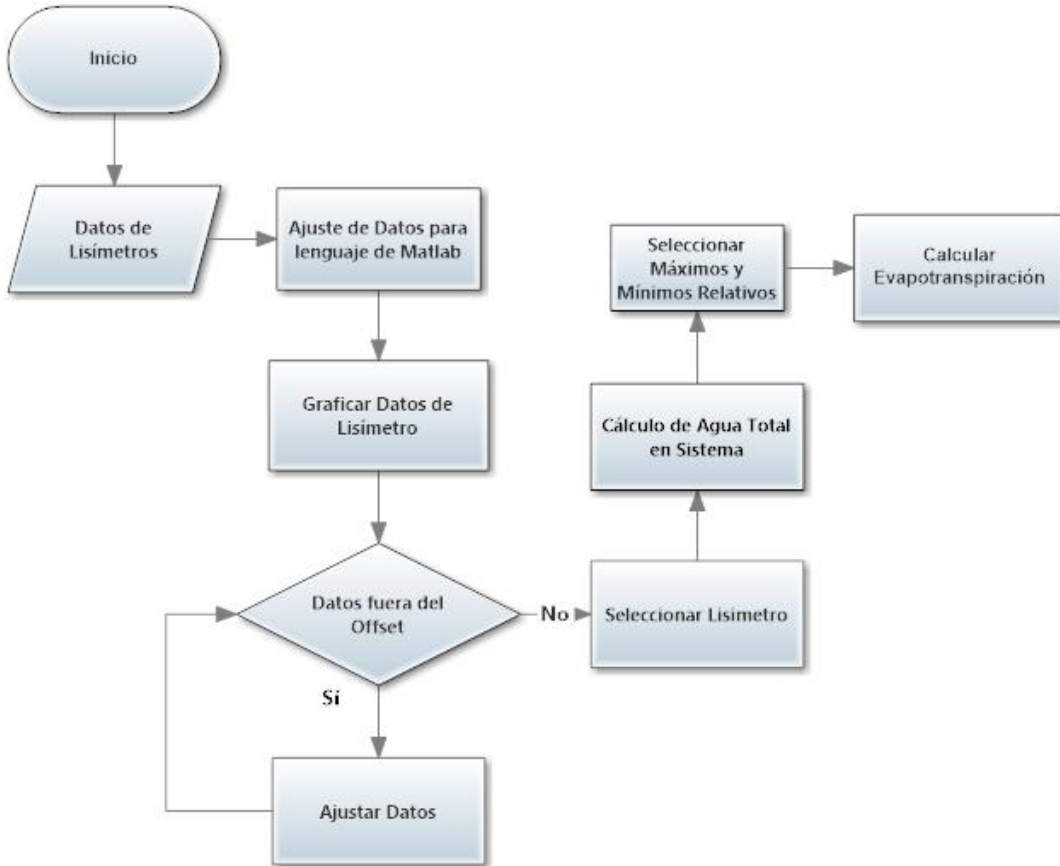
Con base en lo descrito anteriormente se procedió a la captura de datos de masa durante un el tiempo de siembra y crecimiento del miniclavel siguiendo el siguiente diseño experimental mencionado anteriormente, en promedio a lo largo del primer pico se aplicaron 70 litros diarios de agua por cama, en dos, tres o cuatro pulsos de riego, dependiendo de las condiciones climáticas.

Los pulsos de riego aplicados durante el día producen cambio en la masa del sustrato y el lixiviado. La pérdida de masa de agua en el sistema debida a la E<sub>Tc</sub> es medida por las dos balanzas que tiene cada equipo lisímetro. Los datos a lo largo del día se grafican y se analizan mediante el paquete de Software LisApp, desarrollado en lenguaje Matlab, el cual es descrito en el **Anexo D**.

La Figura 3-21 muestra el diagrama de flujo de datos del software LisApp con el cual se analizó la medición obtenida por los lisímetros de pesada para obtener la evapotranspiración. LisApp está desarrollado en un entorno gráfico GUI (graphical user interface) de Matlab, que permite una operación intuitiva y sencilla por parte del usuario que este analizando los datos.

El software LisApp fue desarrollado en Matlab que tiene herramientas de análisis y correlación de información para decidir si una serie de datos es estadísticamente válida para la investigación como el *Curve Fitting*. La información puede ser estadísticamente inválida, por errores técnicos del equipo de toma de datos. Además, Matlab permite el manejo de grandes volúmenes de datos, lo cual, resulta engorroso con otros software numéricos como Excel o Scilab.

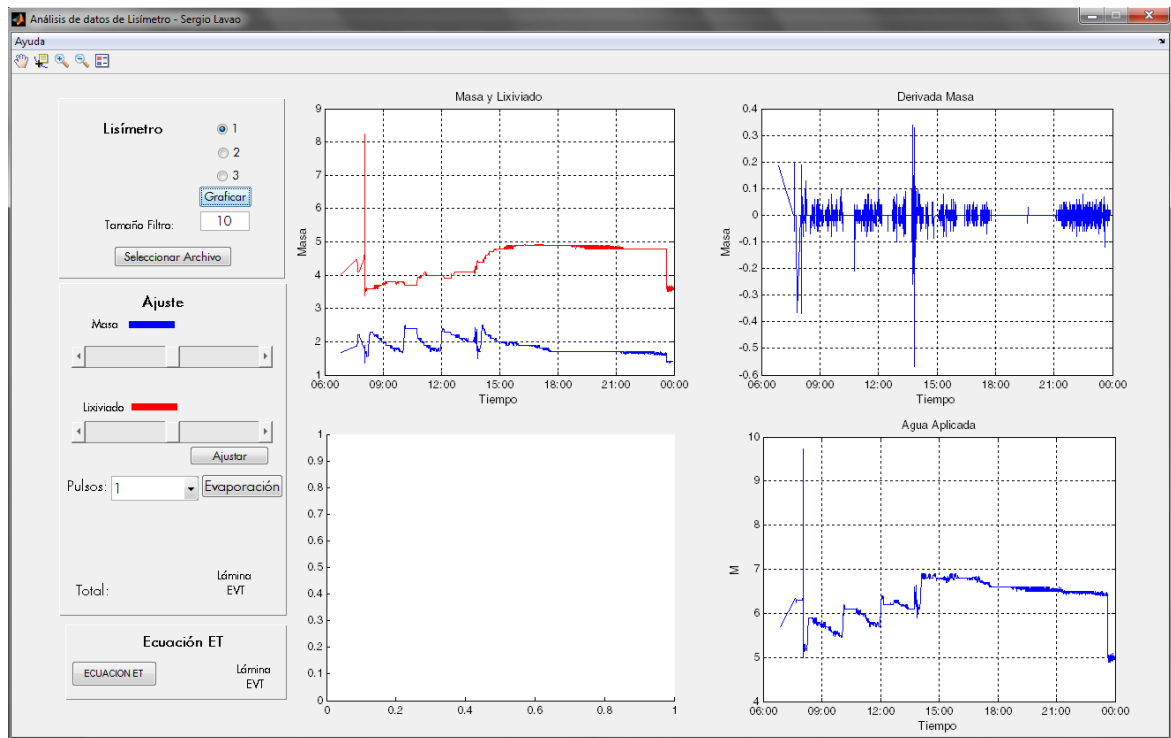
Figura 3-21: Diagrama de flujo de datos Software LisApp



Por medio de un script para conversión de datos desarrollado en Python (**Anexo C**), se hace posible la adecuación de los datos generados por el sistema de medición en Marengo para su posterior lectura y análisis en Matlab, como se muestra en el manual (**Anexo D**). En la aplicación LisApp se tratan los datos para poder filtrar aquellas mediciones que contengan gran cantidad de ruido y se ajustan los datos para que sea visible el comportamiento de la evapotranspiración, para su posterior medición por cada pulso de agua aplicada.

El proceso que se sigue luego de la conversión de datos es cargar el archivo al programa, donde se realiza un ajuste de curvas para una mejor visualización de los picos presentados en una medición (ver Figura 3-22), acto seguido se eligen los picos y se seleccionan los pulsos de agua que hubo en el día tal como se muestra en el manual (**Anexo D**)

Figura 3-22: Interfaz principal de LisApp



## 4 RESULTADOS

La información del clima recopilada en este trabajo, se tomó desde agosto del año 2013 hasta enero del año 2014. Fue proporcionada y recopilada directamente por el proyecto que se encontraba desarrollando en el Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia. Se utilizó igualmente información de la estación meteorológica de Tibaitatá, ubicada en CORPOICA. Los datos proporcionados por el proyecto fueron: Humedad Relativa, brillo solar y Temperatura. De la estación meteorológica de Tibaitatá se obtuvo información sobre velocidad del viento, brillo solar, humedad relativa, temperatura y radiación solar, ver Tabla 4-1

Con la información obtenida fue posible calcular la evapotranspiración de referencia usando los modelos de Penman-Monteith (1977), García-López (1970), Hargreaves-Samani (1985), Turc (1961) y por último, el método del tanque evaporímetro FAO 56. El coeficiente de cultivo fue determinado con base en la relación de lo obtenido en la estimación de ETo de los modelos y la ETc que era medida directamente de los lisímetros de pesada. El modelo de Penman-Monteith (1977) se considera como el método más recomendado para realizar la estimación de la evapotranspiración de referencia. Dentro de los invernaderos no existe velocidad del viento y esta ecuación se torna compleja su estimación y parecería mejor usar el modelo de Stanghellini (1987) el cual no se aplicó por la dificultad en la obtención de algunos parámetros. La Tabla 4-1. Muestra las variables disponibles en la base de datos conformada junto con su periodo de medición. Se incluyen algunas variables necesarias para el balance hídrico y tomadas con el UNlisitrón.

**Tabla 4-1: Variables meteorológicas medidas, registradas y periodo de tiempo de información disponible para cada una de ellas.**

<b>Variable</b>	<b>Rango de medición</b>
Humedad Relativa dentro del invernadero	Agosto de 2013-Enero de 2014
Radiación dentro del invernadero	Agosto de 2013-Enero de 2014
Velocidad del viento estación Tibaitatá	Agosto de 2013-Enero de 2014
Brillo Solar estación Tibaitatá	Agosto de 2013-Enero de 2014
Temperatura dentro del invernadero	Agosto de 2013-Enero de 2014
Evapotranspiración real	Agosto de 2013-Octubre de 2014
Volúmenes de riego y drenaje por Válvula	Agosto de 2013-Julio de 2014
Evaporación Tanque Evaporímetro dentro del invernadero	Octubre de 2013- Diciembre de 2013
Evaporación Tanque Evaporímetro estación Tibaitatá	Agosto de 2013- Enero de 2014

Es importante tener en cuenta que los periodos fenológicos para el cultivo de clavel variedad Rony se presentan en la Tabla 4-2 y serán los utilizados en el presente documento.

**Tabla 4-2: Fechas consideradas por etapa fenológica del cultivo en el proyecto**

Etapa	Fecha	Semana
Inicial	13/08/2013 - 19/10/2013	1 - 10
Desarrollo	19/10/2013 - 16/11/2013	10 - 14
Mediados De Temporada	16/11/2013 - 15/01/2014	14 - 23
Final	15/01/2014 - 14/02/2014	23 - 28

#### **4.1 MEDICIÓN Y MODELAMIENTO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO ETC.**

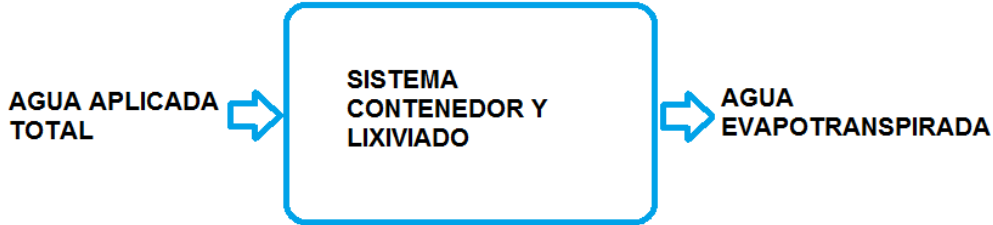
El UNLisitrón instrumento desarrollado por el equipo de la Universidad Nacional de Colombia mide el agua evapotranspirada del clavel durante el día. El equipo mide la masa de agua aplicada al contenedor de la planta durante el pulso de riego así como la masa de agua lixiviada o drenada, el balance hídrico del sistema permite determinar la Evapotranspiración real del cultivo ETC..

El programa de balance desarrollado supone que como el periodo de aplicación de agua de fertirriego en cada pulso (de 3 a 8 minutos como máximo) la ET se puede desechar, aunque los valores registrados permiten realizar los cálculos respectivos.

Las variables que se tienen en cuenta son:  $A_i$  agua aplicada al contenedor y  $A_o$  agua lixiviada son medidas directamente por cada una de las celdas de carga que tienen los contenedores de planta y de drenaje o lixiviado.

La figura 4-1, muestra el sistema evaluado, el cual se compone de una entrada correspondiendo a la entrada (Fertirriego), el contenedor de plantas y de drenaje y una salida que es la ETc. En la Figura 4-2 se observa el comportamiento del agua lixiviada en el contenedor y en Figura 4-3 se muestra el comportamiento del sistema completo. Para este sistema, se consideran las variaciones de masa producidas por el agua aplicada, lixiviada y evapotranspirada durante uno o más pulsos de riego. El agua aplicada al contenedor y medida con su respectiva balanza puede empezar a drenarse aún antes de que termine el pulso. Sin embargo, dado que es un sistema cerrado para el agua aplicada, por el corto lapso de tiempo, se puede afirmar que el agua aplicada es la suma del agua medida en el contenedor de la planta más el agua que se ha lixiviado. El agua total aplicada es entonces:

Figura 4-1: Esquema del sistema analizado



$$A_T = A_i + A_o$$

Donde:

$A_T$  = Agua Total en el sistema

$A_i$  = Agua aplicada al contenedor

$A_o$  = Agua lixiviada

El Agua Total ingresada al sistema solo experimenta variaciones significativas durante el tiempo del pulso. Es decir, que cuando el diferencial del agua total sea aproximadamente cero para una ventana de tiempo pequeña (Menor a 5 minutos), sabemos que no se está aplicando agua.

$$\frac{dA_T}{dt} \approx 0$$

Una vez la razón de cambio sea aproximadamente igual a cero, se inicia la medición de pérdida de masa en el sistema, la cual se debe a la evapotranspiración. En este caso el diferencial del Agua Total se vuelve una herramienta importante de análisis para la medición de la evapotranspiración. Luego de un pulso se tiene un Agua Total Inicial en el sistema. En el siguiente pulso de agua se tendrá una variación del agua total mucho mayor que cero.

$$\frac{dA_T}{dt} \gg 0$$

Justo antes de esta variación, para efectos de análisis y medición se tiene el Agua Total Final. Es decir, corresponde a la cantidad de agua que tiene el sistema entre dos pulsos consecutivos.

$$A_{Ti} = \text{Agua Total Inicial}$$

$$A_{Tf} = \text{Agua Total Final}$$

Dado que el sistema es cerrado, la única razón para que el Agua Total Inicial y el Agua Total Final sean distintas es la evapotranspiración real (ETc), que se expresaría como:

$$ETc = A_{Ti} - A_{Tf}$$

Ampliando esta ecuación a las variables medidas que son las masas de agua del contenedor y el lixiviado se llega a:

$$A_{Ti} = A_{ii} + A_{oi}$$

$$A_{Tf} = A_{if} + A_{of}$$

Donde:

Aii = Masa Agua en el lisímetro inicial

Aoi = Masa Agua del lixiviado al inicio

Aif = Masa Agua en el lisímetro al final

Aof = Masa Agua del lixiviado al final

La ETc se obtendría como:

$$ETc = (A_{ii} + A_{oi}) - (A_{if} + A_{of})$$

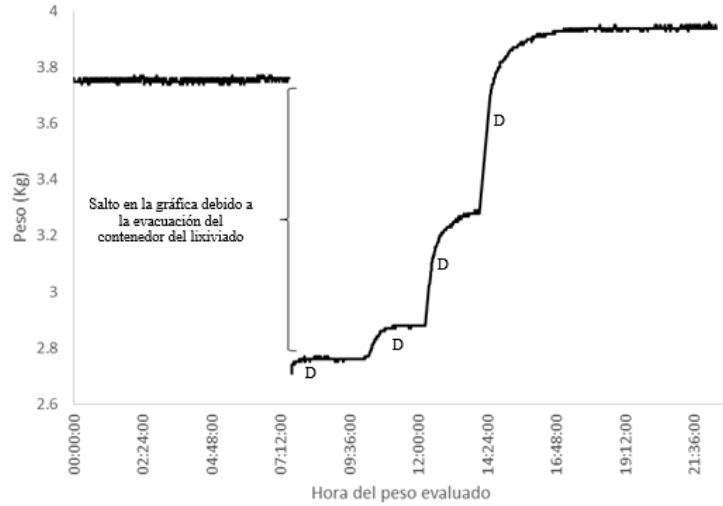
Para determinar los tiempos  $t_i$  y  $t_f$  en los que se debe considerar las masas de los recipientes, se debe usar análisis numérico, para determinar cuándo se cumple que la razón de cambio del agua total sea aproximadamente cero

$$\frac{dA_T}{dt} \approx 0$$

González et al., (2015b) presentan en la Figura 4-2 el comportamiento del contenedor del lixiviado del proyecto presentado a Colciencias con código 1101-586-35780, similar comportamiento es el expresado en las ecuaciones planteadas anteriormente. Se observa en el contenedor de drenaje como el peso del mismo declina en la hora nocturna cuando se vacía el mismo y se va llenando a lo largo del día producto del drenaje del contenedor principal que contiene las plantas con sustrato.

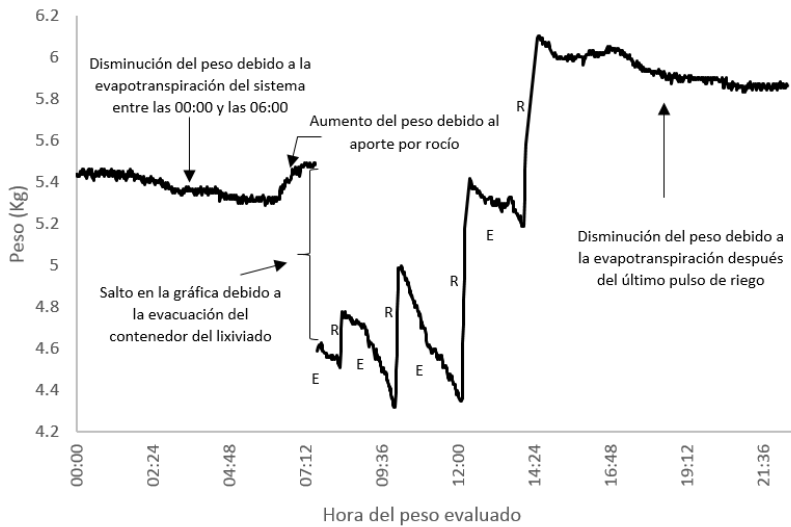


**Figura 4-2: Comportamiento del contenedor del Lixiviado. Fuente: González C et al., (2015b)**



La Figura 4-3 muestra los aumentos de peso debidos al riego así como las disminuciones que se presentan después del mismo debido a la velocidad de percolación que presenta el sustrato al inicio así como las disminuciones lentas generadas por el consumo de agua del cultivo. Este mismo comportamiento es el expresado en las ecuaciones descritas anteriormente, lo cual es evidenciado en la Figura 4-4 y Figura 4-5.

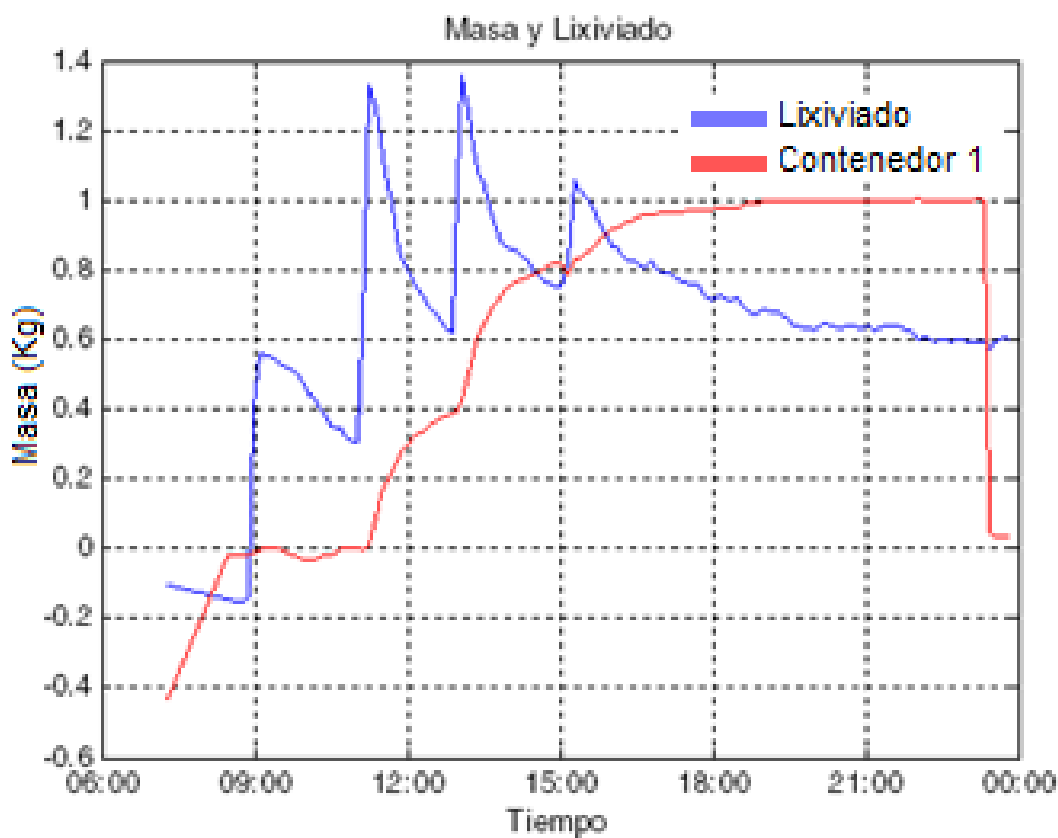
**Figura 4-3: Comportamiento del contenedor de la planta y sustrato. Fuente: González C., et al., (2015b)**



## 4.2 CALCULO EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET<sub>c</sub>)

La ET<sub>c</sub> se obtiene con la información provista por los lisímetros. La información proporcionada por los lisímetros es diaria, con datos promediados cada 3 segundos. El procedimiento empieza con la selección de un día a evaluar, luego de haber seleccionado el día, se toman los 3 lisímetros instalados en Marengo, se grafican y se genera una presentación similar a la que se muestra en la Figura 4-4, donde la línea roja hace referencia al peso del lixiviado y la línea azul hace referencia al peso de la planta y los sustratos, como se observa en la figura la línea roja es creciente hasta un punto donde se estabiliza, que es aproximadamente hacia las 21:00 horas. Este comportamiento está señalando el momento desde que cesa el drenaje del contenedor principal. El punto donde está bajando en forma vertical es donde se opera el sistema de drenaje del contenedor de lixiviado, el cual es el inicio del siguiente día de monitoreo. La línea azul que corresponde al sistema contenedor- planta-sustrato presenta unos picos a diferentes horas del día, estos picos hacen referencia a los pulsos de agua que hubo durante el día, dependiendo de la época del año difieren la cantidad de pulsos, (entre 3 y 5 pulsos).

Figura 4-4: Comportamiento del peso de la Planta y del Lixiviado, día 20 de Abril 2014



Debido al volumen de información generado, se desarrolló un programa para ser corrido en MATLAB®, llamado LisApp que permitía obtener la información de ETc diaria durante los días del experimento.

La Tabla 4-3 muestra los resultados de ETc diaria para 10 días seleccionados como ejemplo de los resultados obtenidos para el lisímetro 1 y el lisímetro 2, a pesar de que eran 3 lisímetros, el tercer lisímetro presentaba un ruido en la serie de tiempo, generado por problemas técnicos de la tarjeta usada, lo cual imposibilitaba la medición y evaluación de los datos registrados por dicho lisímetro.

El Anexo A presentan los valores obtenidos de ETc entre agosto de 2013 y octubre de 2014. El presente trabajo solamente utiliza los valores de ETc hasta el primer pico de producción a fin de obtener el cálculo de Kc. Aunque estos valores de ETc después del primer pico fueron calculados para tener en cuenta la evapotranspiración real del cultivo a lo largo del ensayo ejecutado para ser presentados ante el financiador del proyecto, Colciencias.

**Tabla 4-3: Ejemplo de la ETc obtenida por LisApp para 10 días.**

Día	ETc - Lisímetro No. 1 (mm)	Observación Lisímetro No. 1	ETc - Lisímetro No. 2 (mm)	Observación Lisímetro No. 2	ETc - Lisímetro No. 3 (mm)	Observación Lisímetro 3	Promedio ETc Lisímetros No.1 y No.2 (mm)	Pulsos
17/08/2013	1,54	Incompleta	1,74	Incompleta	-	Sin Dato	1,65	2
18/08/2013	1,99	Normal	1,97	Normal	-	Extraño	1,98	2
19/08/2013	1,88	Normal	1,88	Normal	-	Extraño	1,88	2
20/08/2013	2,26	Normal	2,28	Normal	-	Sin Dato	2,27	2
22/08/2013	1,89	Incompleta	1,87	Incompleta	2,77	Normal	1,88	2
23/08/2013	2,35	Normal	2,39	Normal	-	Sin Medición	2,37	2
24/08/2013	1,96	Normal	1,90	Normal	-	Error Medición	1,91	2
25/08/2013	2,15	Normal	2,17	Normal	-	Error Medición	2,16	2
26/08/2013	2,23	Normal	2,23	Normal	-	Error Medición	2,23	2
27/08/2013	1,72	Normal	1,70	Normal	-	Error Medición	1,71	2
28/08/2013	2,10	Normal	2,08	Normal	-	Sin Medición	2,09	3

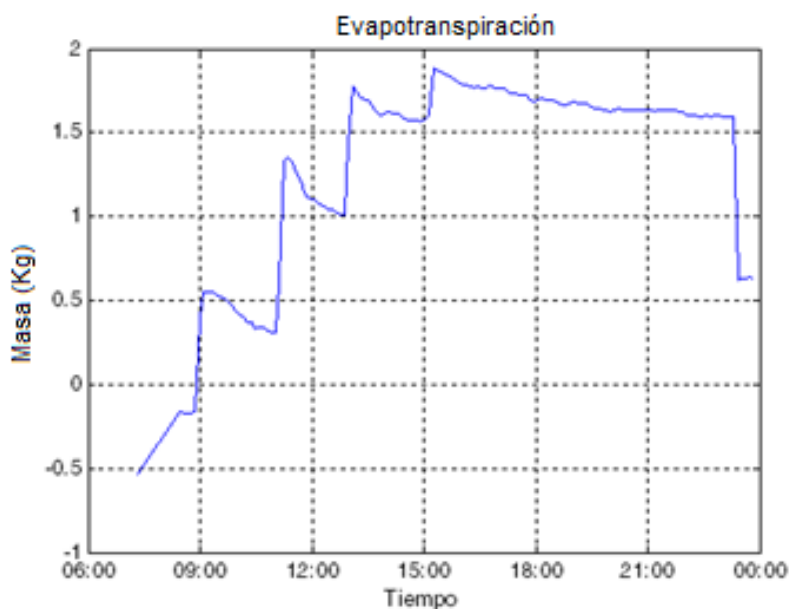
En la Tabla 6-1 (ver Anexo A) se presentan los valores de ETc obtenida al procesar los archivos en el software LisApp para los tres lisímetros, es de aclarar que para el tercer lisímetro la mayor parte de los datos presentaban datos Extraños, sin medición o con Ruido. Extraño se refiere a cuando la medición tuvo muchas fugas (fugas: Si se considera que el sistema es totalmente cerrado, nunca se debería observar un decremento en la masa del lixiviado. Dado que en los

datos de algunos días se observa decremento en la masa del lixiviado, se presume un ingreso de errores por fugas de agua en los recipientes de lixiviado), sin dato cuando en la medición no hubo registro de información y finalmente el Ruido se señala cuando la medición presenta muchos picos altos y bajos, esto se explica con mayor detalle en el Anexo A., por lo cual y de acuerdo a lo descrito anteriormente el lisímetro 3 al presentar alteraciones en los datos, no fue tenido en cuenta para obtener el promedio de ETC.

En la Figura 4-5 se muestra el comportamiento de evapotranspiración que es generada por LisApp aplicando una suma punto a punto entre la información referente al peso del Contenedor 1 donde se encuentran los sustratos y la planta y al contenedor del lixiviado. Los valores negativos que se muestran no afecta el resultado de la evapotranspiración, porque corresponde a un corrimiento aplicado en el software para efectos de visualización de la superposición de los 2 contenedores. Esto es una aplicación directa del Modelo Físico desarrollado dentro de este trabajo. El procedimiento llevado a cabo es:

- Cargar el archivo a LissApp.
- Ajustar las gráficas del lixiviado y del contenedor de la planta y los sustratos para su visualización.
- Cálculo de agua total aplicada: Se realiza la suma punto a punto que se muestra en la Figura 4-5.
- En la gráfica obtenida se ubican los puntos máximos y mínimos locales, los cuales determinan la evapotranspiración entre cada pulso de riego,
- Luego se ingresa el dato de la cantidad de pulsos de agua que hubo en el día, que se obtiene de la misma gráfica
- Se selecciona la opción de calcular la evapotranspiración real del cultivo ETC
- 

**Figura 4-5: Comportamiento de la Evapotranspiración con un valor 2,45 mm, día 20 de Abril de 2014**



Se debe tener en cuenta que los valores registrados por los lisímetros tienen unidades de masa (peso) en cada una de sus balanzas, por lo cual, se hace la aproximación de que un metro cúbico de agua pesa una tonelada, una vez tenida en cuenta esta aproximación, es importante mencionar que la información que se obtiene como salida del software está en kilogramos lo cual se relaciona directamente con litros.

Conforme a lo descrito anteriormente este valor se puede transformar en términos de lámina de agua, dividiendo este valor en el área del contenedor, para transformarla en lámina de agua se aplica un factor (F) geométrico de volumen que corresponde al volumen de un milímetro de agua en el área regada, éste es obtenido del área del contenedor de la planta que es  $0,26 \text{ m}^2$  por 1mm de altura ( $F = 0.26$ ).

### **4.3 MODELO DE REPETIBILIDAD DEL MODELO FÍSICO ENTRADA SALIDA DE AGUA APLICADA**

Por medio del modelado matemático se describen las relaciones que hay entre variables, para luego realizar estudios y predicciones del comportamiento del sistema con base en el sistema obtenido. El modelo fue aplicado para evaluar series de datos, y determinar si la medición registrada es válida, es decir que no tiene ruido ni factores asociados que alteren los datos, como por ejemplo el caso de las fugas.

El modelo de repetibilidad fue realizado con el objeto de validar si la información que se analiza presentaba la misma tendencia entre los diferentes días analizados. Ello se realizó con los valores registrados en los lisímetros de pesada, determinando inicialmente un modelo ajustado y después se verifican los resultados con diferentes días de los registros para determinar si observan la misma tendencia. De acuerdo a las medidas estadísticas de  $R^2$  y RMSE (Root mean square error, raíz cuadrada del error cuadrático ó error cuadrático medio) se verificó que los datos analizados son válidos para los distintos días evaluados, por lo tanto y de acuerdo a lo presentado en el Anexo B se considera que los datos tienen un comportamiento que puede considerarse independiente del día analizado.

Para describir el sistema se modeló teniendo en cuenta que la entrada es el valor de la masa del contenedor de los sustratos y la planta, y como salida el valor de la masa del lixiviado. Se ajustó un modelo de regresión múltiple (Polinómicas), buscando describir el comportamiento del sistema como función del tiempo durante el día; para ello se utilizó la herramienta Surface Fitting Tool proporcionada por Matlab, a fin de obtener los modelos matemáticos del sistema para varios días escogidos aleatoriamente, compararlos y evaluar la repetibilidad del sistema físico. El modelo se ajustó bien a los datos dado que las diferencias entre los valores observados y los valores previstos por el modelo son pequeños.

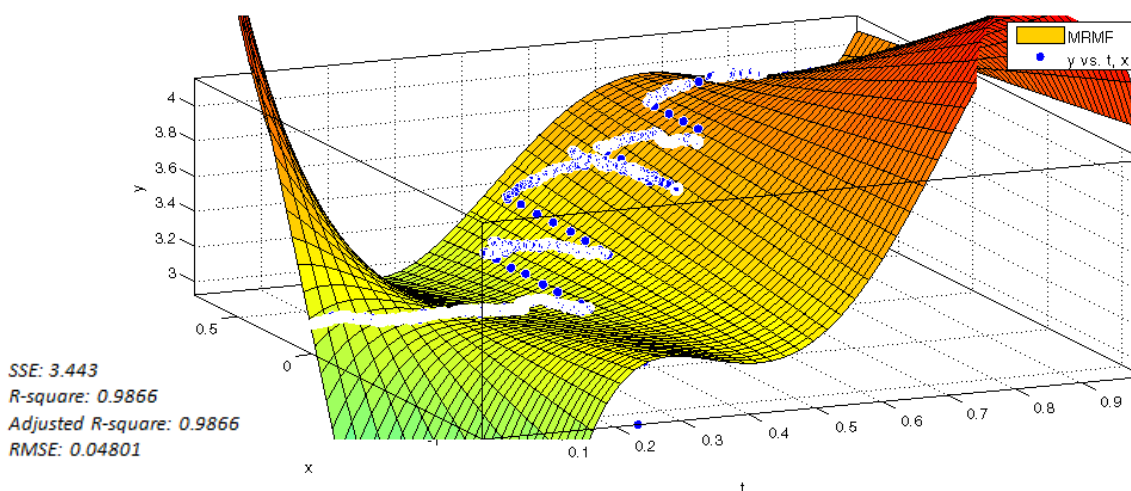
El RMSE determina la medida en la que el modelo no se ajusta a la información a analizar, es decir para el caso de la aplicación se refiere a los datos evaluados por el modelo. Cuando el resultado del RMSE se aproxime más a cero es porque el estimador se ajusta más a los datos analizados.

R cuadrado (R-square) es una medida estadística de qué tan cerca están los datos a la línea de regresión ajustada. También se conoce como el coeficiente de determinación, o el coeficiente de de regresión múltiple.

La suma de los cuadrados del error (SSE), es otro indicador que genera la salida del modelo ajustado y puede ser usado como un indicador adicional similar al R2 ajustado.

La Figura 4-6 muestra la estimación matemática y estadística que se analizó en un grupo de datos para determinar su repetibilidad, es importante mencionar que esta figura fue obtenida con la herramienta de Matlab y su resultado permite estimar en un grupo de datos en tres ejes (masa lixiviado, masa lisímetro y tiempo) que tan repetibles son los datos, de acuerdo a lo presentado en la gráfica se concluye que si son repetibles y aptos para el estudio que de ellos se derivan.

**Figura 4-6: Modelo de repetibilidad**



El RMSE obtenido con valor de 0.4801 se aproxima a cero, lo que indica que el estimador se ajusta a los datos analizados y el modelo de repetibilidad es válido para toda la serie de datos analizados a nivel diario (Anexo B).

#### 4.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL CULTIVO ETC

El Anexo A, presenta los valores diarios de ETC, El cálculo de la ETC se realizó por etapas fenológicas (ver Tabla 4-2), la Tabla 4-4 presenta el promedio de la ETC por etapas fenológicas del cultivo del clavel variedad Rony.

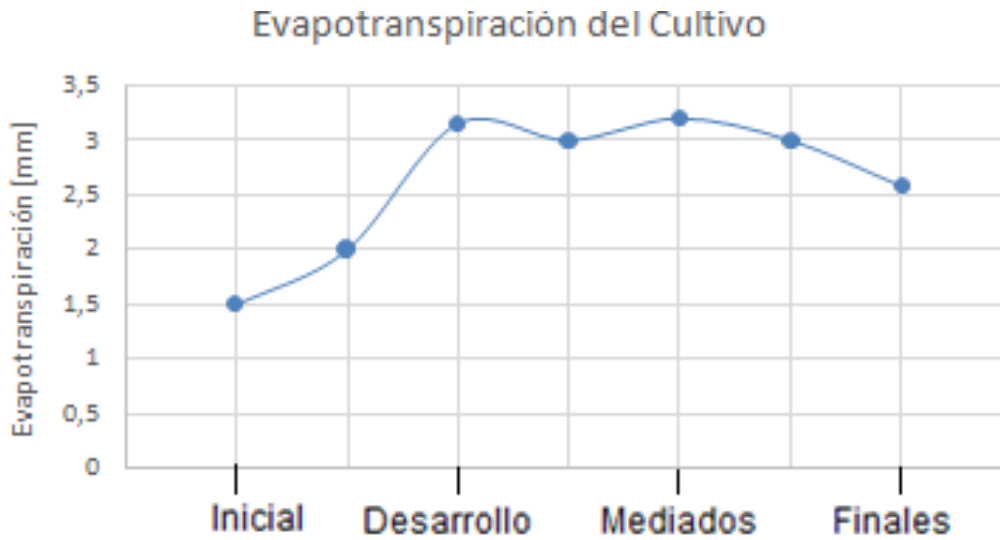
La evapotranspiración real del cultivo hasta el primer pico de producción, específicamente en la etapa inicial es baja y tiene un promedio de 1.75 mm, para la segunda etapa (etapa de desarrollo) la evapotranspiración real del cultivo presenta un valor promedio de 2.75 mm, en la tercera etapa (mediados de temporada) es donde se registra la mayor evapotranspiración real de cultivo con un valor es de 3.27 mm, finalmente en la cuarta etapa (etapa final) se registra una evapotranspiración real de cultivo con un valor de 2,31 mm, esto se puede apreciar en la Figura 4-7.

**Tabla 4-4: Promedio por etapas fenológicas de Evapotranspiración en Cultivo para el primer pico de producción.**

Etapa fenológicas	Etc [mm]	Fecha
Inicial	1,5	13/08/2013 - 19/10/2013
Desarrollo	2	19/10/2013 - 16/11/2013
Mediados De Temporada	3,15	16/11/2013 - 15/01/2014
Final	3	15/01/2014 - 14/02/2014

A continuación en la Figura 4-7 se presenta gráficamente lo expresado en la Tabla 4-4.

**Figura 4-7: Evapotranspiración real del Cultivo ETC**



#### 4.5 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA ETo

Para el período a analizar se realiza el cálculo de la evapotranspiración de referencia ETo, dentro del invernadero con la información de la temperatura (T) y la humedad relativa (HR) registrada

como se muestra en la Tabla 4-5, es importante mencionar que los datos diarios registrados por los equipos instalados dentro del invernadero se presentan en el Anexo E y F.

**Tabla 4-5: Promedio de los parámetros climatológicos registrados en Marengo para las variables de humedad relativa (HR) y temperatura (T) y Radiación Solar, en las etapas fenológicas del cultivo**

Etapa	Fecha	HR( %)	HR máx. (%)	HR min (%)	T (°C)	T máx. (°C)	T min (°C)	Radiación Solar
Inicial	13/08/2013 - 19/10/2013	64,83	89,7	28,6	16,40	29,5	8,5	11,2
Desarrollo	19/10/2013 - 16/11/2013	66,83	92	21	16,91	36,1	3,2	10,5
Mediados De Temporada	16/11/2013 - 15/01/2014	66,24	91,5	22,1	17,18	37,1	4	13,8
Final	15/01/2014 - 14/02/2014	71,17	93,2	22,5	17,02	37,4	5,4	11,5

Como se señaló en la metodología, la estimación de la ETo se realizó en función de la información meteorológica disponible. Esta se obtuvo de la parte interna del invernadero con esta información interna que correspondía a temperatura, humedad relativa y radiación se calculó la ETo por los métodos de Turc (1961), García-López (1970), y Hargreaves – Samani (1985). Con la información de la estación meteorológica de Tibaitatá se ajustaron los modelos de Penman – método de Penman – Monteith (1977).

Para el tanque de evaporación solo existía información parcial dentro del invernadero (datos desde octubre a diciembre), por lo cual se utilizaron los datos de la estación meteorológica de Tibaitatá, es importante mencionar que no fue posible realizar una correlación de datos del evaporación de tanque evaporímetro entre la estación de Tibaitatá y los datos registrados en el invernadero ya que no existen datos en el mes de agosto, septiembre, enero y febrero para realizar las correlaciones mensuales.

Los métodos que se aplican teniendo dicha información registrada son; el método de Turc (1961), el método de García-López (1970), el método de Penman – Monteith (1977), el método de Hargreaves - Samani(1985) y el de tanques evaporímetros, en el Anexo F se muestra en detalle el cálculo realizado para cada método, mientras en que la Tabla 4-6 se presentan el resultado de la ETo para las distintas metodologías mencionadas anteriormente.

Se debe tener en cuenta que los equipos mencionados anteriormente se instalaron dentro del invernadero, por lo cual, los datos que se tienen dentro del mismo son de temperatura, humedad relativa y radiación.

De acuerdo con lo expresado anteriormente y teniendo en cuenta que estas variables limitan el uso de diferentes fórmulas empíricas de ETo, también se recurrió al uso de la estación meteorológica de Tibaitatá las cual registra distintas variables climatológicas.



**Tabla 4-6: Resultado de la evapotranspiración de referencia ETo por etapas fenológicas aplicando el método de García y López (1970), el método de Turc (1961), el método de Hargreaves-Samani (1985), el método de Penman – Monteith (1977).**

<b>Etapa</b>	<b>Fecha</b>	<b>García-López</b>	<b>Turc</b>	<b>Hargreaves Samani</b>	<b>Penman - Monteith</b>
Inicial	13/08/2013 - 19/10/2013	2,44	7,49	10,84	2,3
Desarrollo	19/10/2013 - 16/11/2013	2,52	6,48	12,94	1,8
Mediados De Temporada	16/11/2013 - 15/01/2014	2,62	5,50	10,90	1,6
Final	15/01/2014 - 14/02/2014	2,38	5,35	12,59	1,7

Para la implementación del método del tanque de evaporación se tuvo en cuenta los registros de evaporación de la estación Tibaitatá, ya que esta estación presenta un registro completo de esta variable en comparación de los datos registrados en CAM, la metodología usada fue la descrita en FAO 24, por lo cual es necesario calcular el coeficiente del tanque (Kp), para ello es necesario tener la información de la velocidad del viento, la humedad relativa, y la evaporación misma del tanque.

Conforme a lo descrito anteriormente no fue posible aplicar esta metodología con los datos de tanque evaporímetro de la finca de Marengo debido a la falta de datos en los meses de agosto, septiembre, enero y febrero. Caso contrario ocurre en la estación de Tibaitatá, pues ahí, si hay registro de las variables antes mencionadas, debido a esto se aplicó la metodología con los datos de la estación Tibaitatá y que se tomarán como representativos para la zona de proyecto.

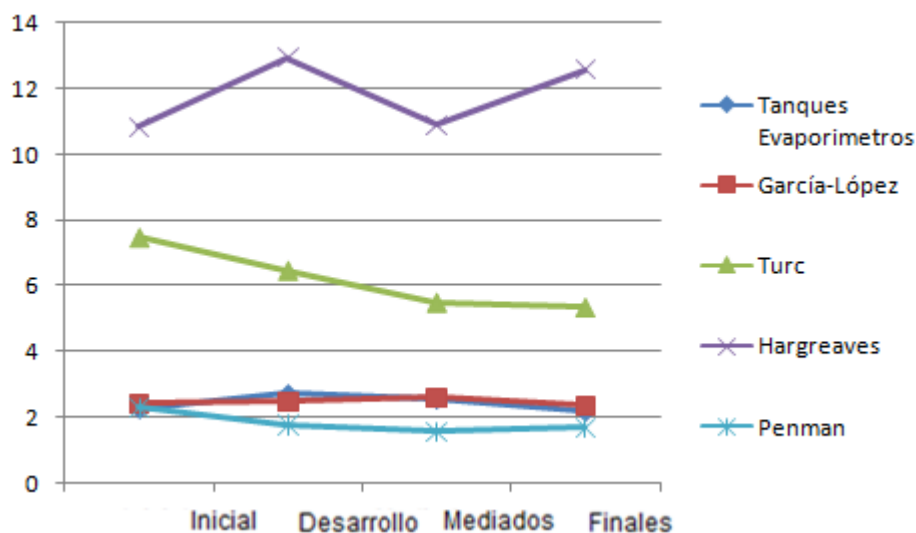
Los valores de ETo por etapa fenológica para el proyecto son presentados en la Tabla 4-7. Para realizar estos cálculo se consideran los datos tomados en las fechas desde el 17 de agosto de 2013 hasta el primer pico de producción que comprende las fechas entre el 14 de enero de 2014 y el 28 de febrero de 2014 como se muestra en la Tabla 4-7, las mediciones completas se encuentran en el Anexo E.

**Tabla 4-7: Promedio de los parámetros climatológicos registrados en la estación Tibaitatá y resultado de la evapotranspiración de referencia ETo para las distintas etapas fenológicas aplicando el método de tanques evaporímetros.**

Etapa	Fecha	Evaporación (mm/día)	Humedad Relativa (%)	Velocidad Viento (m/s)	Localización del Tanque - Caso B (ver Figura 2-6.)	ETo (mm/día)
Inicial	13/08/2013 - 19/10/2013	3,23	79	2,1	0,7	2,26
Desarrollo	19/10/2013 - 16/11/2013	3,41	79	1,9	0,8	2,73
Mediados De Temporada	16/11/2013 - 15/01/2014	3,2	79	1,8	0,8	2,56
Final	15/01/2014 - 14/02/2014	2,73	84	1,6	0,8	2,18

Como se aprecia en la Figura 4-8 solo se presentan valores similares de ETo para los métodos de García-López (1970), el método de Penman-Monteith (1977) y el método de tanque evaporímetro, se debe tener en cuenta que los métodos de Turc (1961) y Hargreaves – Samani (1985) son modelos realizados para latitudes del hemisferio norte, por lo cual estos métodos se alejan bastante de lo que es un valor esperado para la evapotranspiración de referencia en nuestro país.

**Figura 4-8: Comportamiento de la evapotranspiración de referencia calculada con el método de Turc (1961), el método de García-López (1970), el método de Hargreaves-Samani (1985), método de Penman – Monteith (1977) y Tanque Evaporímetro.**



Es de aclarar que de acuerdo a FAO 56 (2006) el método de Penman-Monteith es el método más aproximado y consistente tanto en climas áridos como en húmedos, conforme a lo expresado por FAO 56 este método es el más recomendado para la determinación de ETo, ya que es un método que tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la estimación de los

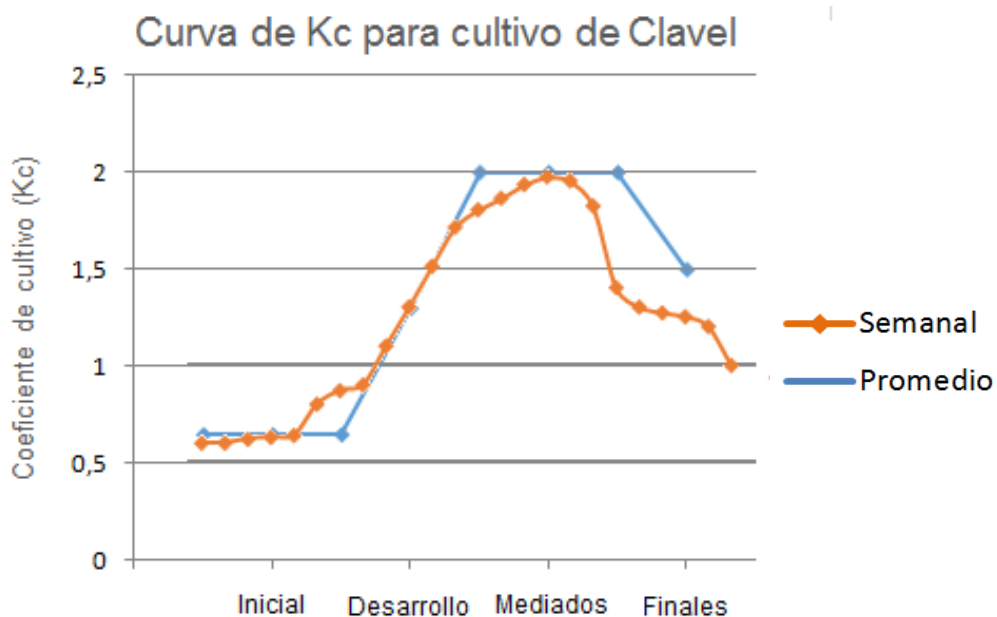
parámetros climáticos faltantes, Allen et al., (2006). La ETo calculada por medio de la metodología del tanque evaporímetro ha probado su valor práctico y ha sido utilizado con éxito para estimar ETo observando la evaporación del tanque y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con la ETo.

## 4.6 CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CULTIVO DE CLAVEL VARIEDAD RONY (Kc)

### 4.6.1 COEFICIENTE DE CULTIVO APLICANDO MÉTODO DE PENMAN - MONTEITH.

Siendo el modelo de Penman-Monteith, el más universalmente usado, este modelo se convierte en un método que recomienda la FAO 56 para el cálculo de ETo. Por ello, el valor obtenido de Kc a nivel diario con la metodología de Penman - Monteith son presentados en el Anexo F, al tener en cuenta los datos registrados en el anexo mencionado se obtiene la Figura 4-9; donde la línea naranja representa el coeficiente de cultivo real calculado a lo largo de las distintas etapas fenológicas. La Figura 4-9 evidencia un comportamiento creciente hasta la tercera etapa, donde alcanza su máximo valor, mientras que en la última etapa vuelve a decrecer el valor de Kc. Es importante mencionar que en la Figura 4-9 también se muestra el promedio del Kc obtenido en cada una de las 4 etapas (ver línea de color Azul).

Figura 4-9: Comparación de Kc hasta el primer pico de producción con la metodología de Penman - Monteith



La Figura 4-9 muestra el comportamiento de la curva de Kc para el cultivo de clavel al variar la evapotranspiración de referencia. El coeficiente Kc cambia en las diferentes etapas, en la etapa inicial el coeficiente de cultivo tiene un valor promedio de 0.65, en etapa de desarrollo el coeficiente de cultivo tiene un valor promedio de 1.75, en la tercera etapa el coeficiente de cultivo alcanza su máximo y su valor es de 2.0, en la cuarta etapa el coeficiente de cultivo desciende y su valor es de 1.5.

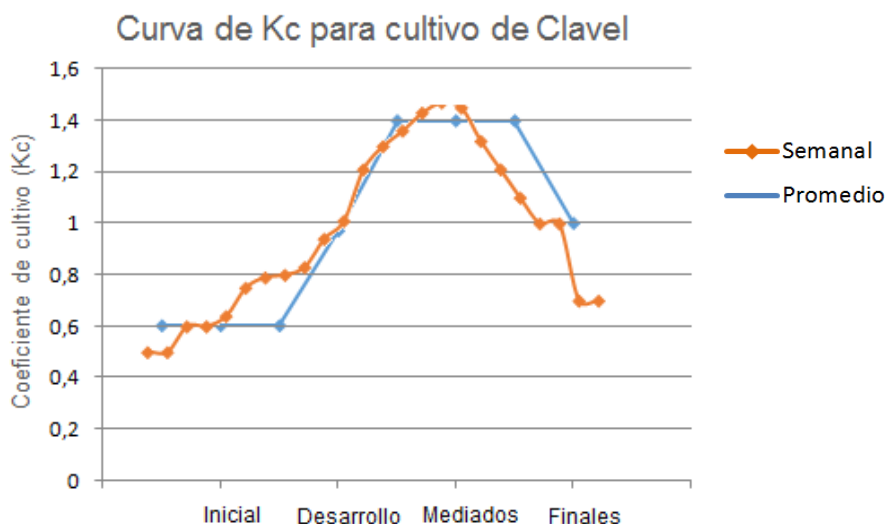
#### 4.6.2 COEFICIENTE DE CULTIVO APLICANDO TANQUES EVAPORÍMETROS

El coeficiente de cultivo, aplicando la metodología de tanques evaporímetros se realizará por medio de la Ecuación 2-10, los resultados diarios de Kc para la metodología de tanques evaporímetros son presentados en el Anexo F, al tener en cuenta los datos registrados en el anexo mencionado se obtiene la Figura 4-10; donde la línea naranja representa el coeficiente de cultivo real calculado a lo largo de las distintas etapas fenológicas.

La Figura 4-10 evidencia un comportamiento creciente hasta la tercera etapa, donde alcanza su máximo valor, mientras que en la última etapa vuelve a decrecer el valor de Kc. Es importante mencionar que en la Figura 4-10 también se muestra el promedio del Kc obtenido en cada una de las 4 etapas (ver línea de color Azul).

La Figura 4-10 muestra el comportamiento de la curva de Kc para el cultivo de clavel al variar la evapotranspiración de referencia. El coeficiente Kc cambia en las diferentes etapas, para la etapa inicial el coeficiente de cultivo tiene un valor promedio de 0.61, en etapa de desarrollo el coeficiente de cultivo tiene un valor promedio de 0.93, en la tercera etapa el coeficiente de cultivo alcanza su máximo y su valor es de 1.41, en la etapa final el coeficiente de cultivo desciende y su valor es de 0.92.

**Figura 4-10: Comparación de Kc hasta el primer pico utilizando la metodología de tanques evaporímetros**

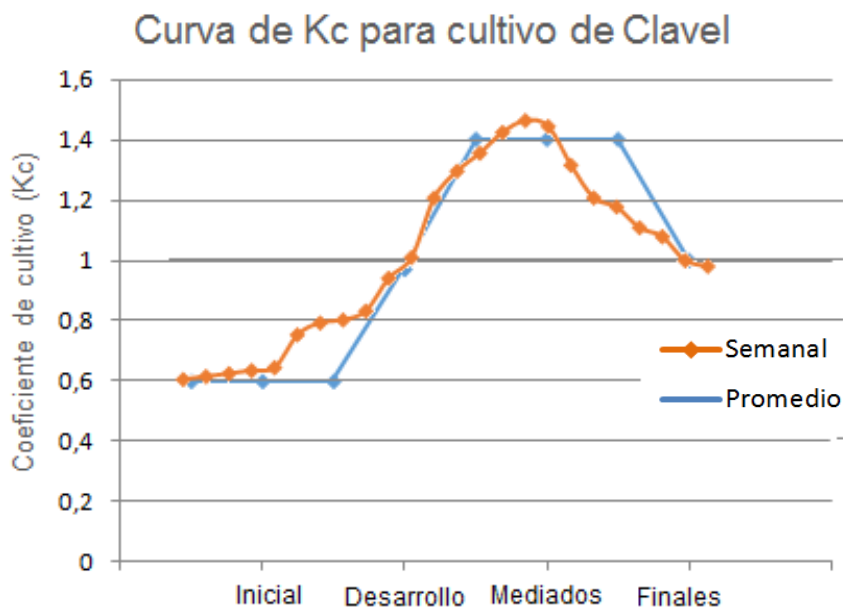


### 4.6.3 COEFICIENTE DE CULTIVO APLICANDO MÉTODO DE GARCÍA-LÓPEZ.

Con el fin de tener un referente de comparación para el valor obtenido de  $K_c$ , se realiza otro cálculo del coeficiente de cultivo tomando la  $ET_0$  por el método de García Lopez mostrada en la Figura 4-7, en la cual se muestran los resultados de los diferentes métodos para hallar la evapotranspiración de referencia, tomando el resultado obtenido para el método de García-López, se realiza el cálculo de manera análoga aplicando la Ecuación 2-10 el los resultados diarios de  $K_c$  para la metodología de García - López son presentados en el Anexo F, al tener en cuenta los datos registrados en el anexo mencionado se obtiene la Figura 4-11; donde la línea naranja representa el coeficiente de cultivo real calculado a lo largo de las distintas etapas fenológicas. La Figura 4-11 evidencia un comportamiento creciente hasta la tercera etapa, donde alcanza su máximo valor, mientras que en la última etapa vuelve a decrecer el valor de  $K_c$ . Es importante mencionar que en la Figura 4-11 también se muestra el promedio del  $K_c$  obtenido en cada una de las 4 etapas (ver línea de color Azul).

La Figura 4-11 muestra el comportamiento de la curva de  $K_c$  para el cultivo de clavel al variar la evapotranspiración de referencia. El coeficiente  $K_c$  cambia en las diferentes etapas, en la etapa inicial el coeficiente de cultivo tiene un valor promedio de 0.61, en etapa de desarrollo el coeficiente de cultivo tiene un valor promedio de 0.96, en la tercera etapa el coeficiente de cultivo alcanza su máximo y su valor es de 1.40, finalmente en la cuarta etapa el coeficiente de cultivo descende y su valor es de 1,16

**Figura 4-11: Comparación de  $K_c$  hasta el primer pico de producción con la metodología de García - López**



#### 4.6.4 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE LOS Kc

Los coeficientes de correlación son medidas que indican la situación relativa de los mismos sucesos respecto a las dos variables, cómo en el caso del Kc, y son la expresión numérica que indica el grado de relación existente entre los 3 Kc obtenidos y en qué medida se relacionan. Este valor varía entre los límites +1 y -1. Su magnitud indica el grado de asociación entre Kc1 que es el valor obtenido al aplicar los tanques evaporímetros en el parámetro de ETo, Kc2 que es el coeficiente de cultivo obtenido al aplicar el método de García-López y Kc3 es el valor de coeficiente de cultivo obtenido al aplicar la metodología de Penman; el valor  $r = 0$  indica que no existe relación entre las variables; los valores 1 son indicadores de una correlación perfecta positiva, al crecer o decrecer el Kc1, crece o decrece Kc2 y Kc3, también puede ser negativa al crecer o decrecer Kc1, decrece o crece Kc2 ó Kc3.

**Tabla 4-8: Resumen de los coeficientes obtenidos**

Etapa	Kc1 Tanques Evaporímetros	Kc2 García-López	Kc3 Penman - Monteith
Inicial	0,61	0,61	0,65
Desarrollo	0,93	0,96	1,75
Mediados De Temporada	1,41	1,40	2,0
Final	0,92	1,16	1,5

**Tabla 4-9: Tabla de correlación para los Kc1 y Kc2.**

Etapa	Fecha	Kc1	Kc2	$x=E1-\mu$	$y=E1-\mu$	$x^2$	xy	y <sup>2</sup>
Inicial	13/08/2013	0,61	0,61	-0,358	-0,423	0,128	0,151	0,179
	- 19/10/2013							
Desarrollo	19/10/2013	0,93	0,96	-0,038	-0,073	0,001	0,003	0,005
	- 16/11/2013							
Mediados De Temporada	16/11/2013	1,41	1,4	0,443	0,368	0,196	0,163	0,135
	- 15/01/2014							
Final	15/01/2014	0,92	1,16	-0,048	0,128	0,002	-0,006	0,016
	- 14/02/2014							
	<b>Σ</b>	0,968	1,033			0,082	0,078	0,084

**Tabla 4-10: Tabla de correlación para los Kc1 y Kc3.**

Etapa	Fecha	Kc1	Kc3	x=E1-μ	y=E1-μ	x <sup>2</sup>	xy	y <sup>2</sup>
Inicial	13/08/2013	0,61	0,65	-0,358	-0,825	0,128	0,295	0,681
	-							
Desarrollo	19/10/2013	0,93	1,75	-0,038	0,275	0,001	-0,010	0,076
	-							
Mediados De Temporada	16/11/2013	1,41	2	0,443	0,525	0,196	0,232	0,276
	-							
Final	15/01/2014	0,92	1,5	-0,048	0,025	0,002	-0,001	0,001
	-							
	14/02/2014							
	<b>Σ</b>	0,968	1,475			0,082	0,129	0,258

**Tabla 4-11: Tabla de correlación para los Kc2 y Kc3.**

Etapa	Fecha	Kc3	Kc2	x=E1-μ	y=E1-μ	x <sup>2</sup>	xy	y <sup>2</sup>
Inicial	13/08/2013	0,61	0,65	-0,423	-0,825	0,179	0,349	0,681
	-							
Desarrollo	19/10/2013	0,96	1,75	-0,073	0,275	0,005	-0,020	0,076
	-							
Mediados De Temporada	16/11/2013	1,4	2	0,368	0,525	0,135	0,193	0,276
	-							
Final	15/01/2014	1,16	1,5	0,128	0,025	0,016	0,003	0,001
	-							
	14/02/2014							
	<b>Σ</b>	1,033	1,475			0,084	0,131	0,258

**Ecuación 4-1: Coeficiente de correlación**

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}}$$

De acuerdo a las Tablas 4-8 a 4-11, el coeficiente de correlación obtenido entre Kc1 y Kc2 tiene como valor 0,937, entre Kc1 y Kc3 es 0,887, el valor obtenido entre Kc2 y Kc3 fue 0,892. El promedio del coeficiente de correlación es: 0,905 lo cual indica una correlación positiva muy alta y una relación lineal entre los valores obtenidos para el cálculo de coeficiente de cultivo, en donde la ETo se obtuvo a partir del método de los tanques evaporímetros, el método de Penman y finalmente se aplicó el método de García - López para realizar el cálculo.

Al realizar este análisis sobre los coeficientes de correlación se establece la validez del Kc obtenidos mediante el análisis de datos de los lisímetros. Cualquier Kc se puede usar, por lo que se establece que el método de medición por lisímetros es válido, pero se debe tener en cuenta que los datos en tiempo real de los lisímetros unidos a esta metodología de análisis, permiten mayor precisión en la medida del Kc.

## 4.7 USO DEL UNlisitrón

De acuerdo al manejo que se le dio al lisímetro de pesada “UNlisitrón” durante todo el periodo del proyecto, se procedió a generalizar una ecuación para la decisión de la necesidad de riego a lo largo de la cama, es importante tener en cuenta que hasta el primer pico de producción, el riego se realizaba teniendo en cuenta el volumen de drenaje en cada una de las camas instaladas, tomando como base un drenaje del 40 % para la decisión de riego.

Es por esta razón que a partir del primer pico de producción se decidió implementar la siguiente ecuación de acuerdo a los volúmenes de drenaje que se registraron en el lisímetro de pesada, se debe tener en cuenta que esta ecuación fue desarrollada en el proyecto presentado a Colciencias con código 1101-586-35780:

$$Riego = \frac{E_c}{E_f * F_D}$$

Dónde:

$E_c$  = Evapotranspiración real medida a partir del consumo de la planta, es decir riego aplicado menos drenaje (lt)

$E_f$  = Eficiencia del sistema de riego (%)

$F_D$  = Factor de drenaje, este se obtiene al aplicar la siguiente ecuación, donde:

$$F_D = R_D / D_{ES}$$

Dónde

$D_{ES}$  = Drenaje esperado (%), se debe tener en cuenta que este criterio será definido con base a los registros volumétricos que se desean en el cultivo y para ello es necesario el Lisímetro ya que este registra en tiempo real los volúmenes drenados.

$R_D$  = Relación de drenado

$$R_D = \frac{\sum D_E}{\sum V_R}$$



Donde:

$D_E$  = Drenaje obtenido del lixiviado de cada lisímetro (lt)

$V_R$  = Volumen de riego aplicado en el lisímetro (lt)

Ahora, de acuerdo a la ecuación descrita anteriormente es importante mencionar que a partir mayo de 2014 se aplicó la ecuación teniendo en cuenta que en los tratamientos con lisímetros se optó por un drenaje esperado igual al 20 %, es por esta razón que se realizará a continuación un análisis del consumo de agua antes y después de la implementación de la ecuación.

Conforme a lo mencionado, en el Anexo G se presentan los registros volumétricos de aplicación de riego y drenaje por cama, obtenidos durante el proyecto, a partir de esos datos se obtiene la Tabla 4-12.

**Tabla 4-12: Consumo de agua (L.m<sup>-2</sup> de área cubierta), en un periodo de doce meses en el cultivo de miniclavel cv. Rony en el ensayo semicomercial, ubicado en el CAM.**

Periodo		Sin lisímetro	Con lisímetro			
		(L.m <sup>-2</sup> )				
		V1	V4	V5	V6	
2013	Septiembre	34.69	33.88	32.63	33.40	
	Octubre	81.11	81.29	79.43	78.73	
	Noviembre	27.31	26.82	27.65	29.12	
	Diciembre	78.57	73.68	74.02	79.02	
2014	Enero	97.53	111.57	100.78	110.69	
	Febrero	36.76	68.77	63.03	65.07	
	Marzo	59.56	58.51	54.85	62.04	
	Abril	80.54	59.09	55.50	66.10	
	Mayo	79.30	65.75	57.84	68.99	
	Junio	45.22	44.07	40.12	37.45	
	Julio	48.73	51.62	42.90	43.68	
	Agosto	48.47	52.15	47.08	44.94	

Se debe tener en cuenta que el consumo se registró en cada una de las nueve camas de cultivo (ver Figura 3-4 y Anexo G), las cuales corresponden a una bomba cuya válvula se enumeró para diferenciar los consumos de agua y fertilizante, de esta manera la válvula 1 corresponden a las tres camas testigo (sin lisímetro) y las válvulas 4, 5 y 6 corresponden a las seis camas monitoreadas con lisímetro.

De acuerdo a la tabla presentada anteriormente, la comparación del consumo de agua (L.m<sup>-2</sup> de área cubierta) se realizará entre las válvulas 1 y 5; en la Tabla 4-13 se presenta la relación del

consumo de agua entre las válvulas mencionadas, obteniendo como resultado el porcentaje de ahorro entre la válvula No. 1 y No.5

**Tabla 4-13: Ahorro comparativo Válvula No. 1 y No. 5**

sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago
6%	2%	-	6%	-	-	8%	31%	27%	11%	12%	3%

Como lo muestra la Tabla 4-13 la aplicación de la fórmula de riego a partir del mes de febrero febrero muestra un mayor porcentaje de ahorro en consumo de agua, es importante mencionar que el primer pico de producción que se dio en el mes de febrero de 2014.

Ahora, de acuerdo a la tarifa volumétrica establecida por el distrito de riego La Ramada, que corresponde al valor que por el suministro de cada metro cúbico de agua en su toma, se debió pagar a la corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR), quienes mediante oficio establecen la tarifa volumétrica de agua de riego para el CAM, así, el valor por del agua por metro cúbico es igual a \$285,63 equivalente a \$0.286 el valor del agua por litro, con base en lo descrito anteriormente se realizó la siguiente tabla:

**Tabla 4-14: Ahorro de agua de riego utilizando el equipo lisímetro de pesada en el cultivo de miniclavé cv. Rony en el ensayo semicomercial, ubicado en el CAM.**

Periodo		Sin lisímetro (L.m <sup>-2</sup> )	Con lisímetro (L.m <sup>-2</sup> )	Ahorro (L.m <sup>-2</sup> )	Ahorro con lisímetro (\$.m <sup>2</sup> )
2013	Septiembre	34.69	32.63	2.06	0.6
	Octubre	81.11	79.43	1.68	0.5
	Noviembre	27.31	27.65	-	-
	Diciembre	78.57	74.02	4.55	1.3
2014	Enero	97.53	100.78	-	-
	Febrero	36.76	63.03	-	-
	Marzo	59.56	54.85	4.71	1.3
	Abril	80.54	55.5	25.04	7.2
	Mayo	79.3	57.84	21.46	6.1
	Junio	45.22	40.12	5.1	1.5
	Julio	48.73	42.9	5.83	1.7
	Agosto	48.47	47.08	1.39	0.4

Teniendo en cuenta la Tabla 4-14, se observa que el ahorro total de agua, aplicando la fórmula de riego desarrollada en el proyecto presentado a Colciencias con código 1101-586-35780 a partir del mes de febrero es mucho mayor que en los meses predecesores.

Por otro lado, uno de los mayores costos que se ahorra el productor de flores mediante la utilización del lisímetro de pesada “UNlisitrón” y la implementación de la fórmula de riego que fue descrita con anterioridad, son los fertilizantes, a continuación se realizará un análisis del ahorro de fertilizantes y los costos por m<sup>2</sup>, se debe tener en cuenta que durante el proyecto se utilizó el fertilizante Agrofeed, el cual tenía una aplicación de 3 mm por litro de agua, así mismo el regulador utilizado tenía una relación de aplicación de 0.675 mmm por litro de agua, los costos del fertilizante y regulador es de \$1300 y \$1350 el litro respectivamente.

**Tabla 4-15: Ahorro de fertilizante (Agrofeed Agruna) y regulador utilizando el equipo lisímetro de pesada instalado en el cultivo de miniclavel cv. Rony del ensayo semicomercial ubicado en CAM.**

Periodo		Agrofeed Sin lisímetro (L.m <sup>-2</sup> )	Regulador Sin lisímetro (L.m <sup>-2</sup> )	Agrofeed con lisímetro (L.m <sup>-2</sup> )	Regulador con lisímetro (L.m <sup>-2</sup> )	Ahorro Agrofeed (L.m <sup>-2</sup> )	Ahorro Regulador (L.m <sup>-2</sup> )	Ahorro con lisímetro (m <sup>2</sup> )
2013	Septiembre	0.104	0.023	0.098	0.022	0.006	0.001	\$ 9.9
	Octubre	0.243	0.055	0.238	0.054	0.005	0.001	\$ 8.1
	Noviembre	0.082	0.018	0.083	0.019	-	-	-
	Diciembre	0.236	0.053	0.222	0.050	0.014	0.003	\$ 21.9
2014	Enero	0.293	0.066	0.302	0.068	-	-	-
	Febrero	0.110	0.025	0.189	0.043	-	-	-
	Marzo	0.179	0.040	0.165	0.037	0.014	0.003	\$ 22.7
	Abril	0.242	0.054	0.167	0.037	0.075	0.017	\$ 120.5
	Mayo	0.238	0.054	0.174	0.039	0.064	0.014	\$ 103.2
	Junio	0.136	0.031	0.120	0.027	0.015	0.003	\$ 24.5
	Julio	0.146	0.033	0.129	0.029	0.017	0.004	\$ 28.0
	Agosto	0.145	0.033	0.141	0.032	0.004	0.001	\$ 6.7

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 4-15, se concluye que después del primer pico, en el periodo comprendido entre marzo y agosto de 2014, etapa en que se empezó a utilizar la ecuación de riego, el ahorro en fertilizante fue de \$306 por m<sup>2</sup>, sumado a esto, el ahorro de agua para el mismo periodo fue de \$18.1 por m<sup>2</sup>, dando como resultado un ahorro total igual a \$ 324 por m<sup>2</sup>.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que a estos costos deberán sumarse el tiempo de utilización de equipos utilizados en el sistema de fertirriego, lo cual es significativo en cuanto a que el tiempo de encendido de las bombas se disminuye y esto reduce el costo de la energía eléctrica. Así mismo, también es significativo en el contexto del uso racional del agua y en búsqueda de mitigar con la implementación de este prototipo se genera una menor contaminación del medio si el fertirriego no se reutilizara disminuyendo su impacto ambiental.

De acuerdo a lo descrito anteriormente y con base en los resultados obtenidos en la producción de tallos, los cuales son presentados en Anexo H, se tiene en resumen la siguiente tabla:

**Tabla 4-16: Producción total de tallos por m<sup>2</sup> meses enero a agosto**

MES	Sin Lisímetro (tallos.m <sup>-2</sup> )	Lisímetro No. 1 (tallos.m <sup>-2</sup> )	Lisímetro No. 2 (tallos.m <sup>-2</sup> )	Lisímetro No. 3 (tallos.m <sup>-2</sup> )
Ene	230	258	272	269
Feb	203	203	183	183
Mar	29	23	29	34
Abr	32	25	23	27
May	45	33	30	37
Jun	79	58	65	70
Jul	175	173	167	175
Ago	46	58	41	45

De acuerdo con la Tabla 4-16 se puede observar que la producción de tallos en el primer pico la producción, tiene una diferencia de tan solo el 4 % con y sin lisímetro de pesada, es importante aclarar que para el primer pico de producción la decisión de riego en ambos tratamientos (con y sin lisímetro de pesada) dependía de que el volumen de drenaje fuera entre el 30 y 50% del volumen de agua aplicada.

Ahora, con base en los resultados presentados en la tabla anterior y teniendo en cuenta que la decisión de riego después del primer pico cultivo se sostuvo en que el volumen de drenaje fuera entre 30 y 50 % del volumen de agua aplicada para el tratamiento sin lisímetro y el 20 % para el tratamiento con lisímetros, se denota que la producción de clavel se redujo en promedio el 9 % como se presenta en la siguiente tabla, debe tenerse en cuenta que los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de variancia y las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 4-17: Producción total de tallos por m<sup>2</sup> en el primer y segundo pico**

TRATAMIENTO	PICO No. 1 (tallos.m <sup>-2</sup> )	PICO No. 2 (tallos.m <sup>-2</sup> )
Sin lisímetro	461	377
Con lisímetro No. 1	484	347
Con lisímetro No. 2	455	326
Con lisímetro No. 3	486	354

Es importante mencionar que de acuerdo a la Tabla 4-17, se debe tener en cuenta que también hubo una reducción en el fertirriego realizado, pues la decisión de riego se redujo al 20 % del volumen drenado, esto de acuerdo a la aplicación de la fórmula descrita anteriormente

## 5 CONCLUSIONES

El lisímetro es una herramienta de generación de información precisa y suficiente para la medición real de la evapotranspiración en distintos cultivos.

De acuerdo con los datos obtenidos en los tres lisímetros se observó que en especial para el tercer lisímetro se presentaron errores en calibración y fallas en la medición, sin embargo para los lisímetros restantes se encontró que los datos registrados se comportaban de la manera esperada, dando como resultado un buen rendimiento en la operación de estos equipos para la actividad asignada. Es importante mencionar que es necesario implementar un sensor de ph y conductividad en el lixiviado con el fin de saber si existe un buen balance de concentración de fertirriego y nutrientes en el suelo para el desarrollo de la planta, esto haría mucho óptimo el rendimiento del UNlisitrón

Es posible regar con base en el UNlisitrón, teniendo en cuenta el porcentaje de drenaje que se establezca previamente. Es importante mencionar que el UNlisitrón, es un equipo que permite ahorrar costos de producción, por otro lado, se debe tener en cuenta que a estos costos, se deberán sumarse el tiempo de utilización de equipos utilizados en el sistema de fertirriego, lo cual es significativo en cuanto a que el tiempo de encendido de las bombas se disminuye y esto reduce el costo de la energía eléctrica. Así mismo, también es significativo en el contexto del uso racional del agua y en búsqueda de mitigar con la implementación de este prototipo un impacto ambiental.

Se requiere una herramienta de software para el análisis de los datos generados por un sistema de Lisímetro de Pesada, de acuerdo a la variable que se quiera medir usando su información, debido a la gran cantidad de datos que puede generar.

La herramienta LisApp permitió filtrar, acondicionar y graficar de una forma sencilla los datos de los lisímetros para la aplicación de distintos análisis y mediciones

El software LisApp permitió por medio de métodos numéricos calcular la evapotranspiración real del cultivo con los datos generados por los lisímetros, aplicando el modelo físico de una forma rápida y sencilla.

Como se apreció en la Figura 4-8 los valores de evapotranspiración de referencia presentan valores similares para los métodos de García-López (1970), el método de Penman - Monteith (1977) y el método de tanque evaporímetro, es de aclarar que de acuerdo a FAO 56 (2006) el método de Penman-Monteith es el método más aproximado y consistente tanto en climas áridos como en húmedos, conforme a lo expresado por FAO 56 este método es el más recomendado para la determinación de  $E_{To}$ , ya que es un método que tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se han desarrollado

---

procedimientos para la estimación de los parámetros climáticos faltantes. Ahora, La ETo calculada por medio de la metodología del tanque evaporímetro ha probado su valor práctico y ha sido utilizado con éxito para estimar ETo observando la evaporación del tanque y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con la ETo.

La correlación de los coeficiente de cultivo Kc obtenidos con valor igual a 0,91 indican una correlación alta y positiva, entre los diferentes Kc hallados por el método de tanques evaporímetros, la ETo obtenida por la estación meteorológica y la hallada por el método de Garcia y López. Ello indicaría que independiente del método de estimación usado se debe hacer énfasis en cuál de estos sería más fácilmente aplicado para una situación en particular.

De acuerdo a la evapotranspiración real del cultivo ETc y a la evapotranspiración de referencia ETo por medio de la metodología de García López se calculó el comportamiento de la curva de Kc para el cultivo encontrando que este cambia en las diferentes etapas fenológicas, en la etapa inicial el coeficiente de cultivo tiene un valor promedio de 0.61, en etapa de desarrollo el coeficiente de cultivo tiene un valor promedio de 0.96, en la tercera etapa el coeficiente de cultivo alcanza su máximo y su valor es de 1.40, mientras que en la cuarta etapa el coeficiente de cultivo desciende y su valor es de 1,16

Los métodos de García y López, Penman-Monteith y tanque evaporímetro presentaron los resultados de evapotranspiración de referencia más reales de acuerdo a las variables climatológicas de la finca de Marengo, esto es porque fue un método desarrollado para zona tropical, a diferencia de Turc y Hargreaves - Samani que presentan valores de ETo muy por encima a lo esperado, se debe tener en cuenta que los métodos de Turc (1961) y Hargreaves – Samani (1985) son modelos realizados para latitudes norte del hemisferio, por lo cual estos métodos se alejan bastante de lo que es un valor esperado para la evapotranspiración de referencia en nuestro país.

Obtener la evapotranspiración por lo métodos descritos requiere en muchos casos acceso a variables climatológicas que no son siempre fáciles de obtener, como es el caso del método aerodinámico y la ecuación de Penman-Monteith, esto se debe a la deducción de las variables o a los instrumentos de medición que se necesita para ello.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M., Noguera, P., y Carrion , C. (2005). Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*, Pp.299-354.
- Alarcón, V. (2000). *Tecnología para cultivos de alto rendimiento*. Cartagena:: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Allen, G. R., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO :Estudios FAO Riego y Drenaje 56. Roma: FAO. Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Howell, T., y Jen. (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, 98(6), 899–920.
- Allen, R. g., Smith, M., Perrier, A., y Pereira, L. (1994). An update for the calculation of reference evapotranspiration. *ICID BULletin*, 43(2), 35–92.
- Ansorena, M. J. (1994). *Sustratos: propiedades y caracterización*. Madrid: Ediciones Mundi - Prensa.
- Antweiler, R.C., Goolsby, D.A., Taylor, H.E., 1996. Nutrients in theMississippi River.
- Anton, A., Montero, J., y Muñoz, P. (2003). *Necesidades de agua del cultivo de tomate en invernadero-comparación con el cultivo al aire libre*. Barcelona: Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaria – IRTA.
- Arévalo, G. A., Ibarra , D. A., y Flórez, V. (2007). Desbotone en diferentes estadios de desarrollo del botón floral en clavel estándar (*Dianthus caryophyllus* L.) var. Nelson. *Agronomía Colombiana*, 25(1):73-82.
- Arias, M. D. (2003). *Utilización agrícola de derivados del mesocarpio del coco*. Bogotá: Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia.
- Arreaza, P. (2000). Técnicas básicas del cultivo del clavel. En M. Pizano, *Cultivo del Clavel* (págs. 15-40). Bogota: Acta Horticulturae.
- Baille. (1996). Principle and methods for predicting crop water requirement in greenhouse environments. *Cahiers options méditerranéennes*, vol 3.

- 
- Baille, M., Baille, A., y Delmon, D. (1994). Microclimate and transpiration of greenhouse rose cropp. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 71,, 1-2, 83-97.
- Barbosa, M., y Perilla, A. (1993.). *Efecto de la aplicación de fungicidas dirigidos al follaje y al suelo para el control de Cladosporium echinolatum (Berkeley) en clavel (Dianthus caryophyllus L)*. Bogotá: Tesis para optar por el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.
- Barrera, R. (1984). *Riegos y Drenajes*. Bogotá: Departamento de Publicaciones Universidad Santo Tomas.
- Berrada, A. L., Simmonds, L., Straw, D., Bartolo, M., y T, L. (2008). *The large lysimeter at the Arkansas Valley Research center*. Colorado: Objectives and accomplishments.
- Besemer, S. T. (1980). Carnations. En *Introduction to Floriculture* (págs. 49-79). Orlando: Larson, R.A.
- Blad, B., y Rosenberg, N. (1974). . Lysimetric calibration of the Bowen-ratio energy balance method for evapotranspiration estimation in the Central Great plains. *J. App. Meteorol.* 13(2), 227-236.
- Blaney, H. F. and Criddle, W. D.: 1950, Determining Water Requirements in Irrigated Area from Climatological Irrigation Data, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Tech. Pap. No. 96, 48 pp.
- Blaney-MarinNigeria. Evapotranspiration Model. *Journal of Hydrology*, Vol. 70, 1984, pp. 71-83.
- Boulard, T., y Wang, S. (2000). Greenhouse crop transpiration simulation from external climate conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 100 : 25–34.
- Brooks, R.H. and A.T. Corey. 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper No.3. Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- Brown, A. (2000). Metodos de estimación de evapotranspiración utilizados en Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, 9-20.
- Calderón, F., y Cevallos, F. (2001). *El cultivo hidropónico de flores en Colombia*. Obtenido de <http://www.drcalderonlabs.com/>
- CAM. (2010). *Generalidades Centro Agropecuario Marengo*. Recuperado el 30 de Junio de 2015, de <http://www.marengo.unal.edu.co/GENERALIDADES.pdf>
- Casanova, M., Messing, I., Joel, A., y Cañete, A. (2009). Métodos de estimación de la evapotranspiración de un cultivo de lechuga en condiciones de invernadero, zona central de chile. *Chilean J. Agric. Res. Vol. 69* , 60-70.



- Davie, T. (2003). Fundamentals of hydrology. En *Routledge fundamentals of physical geography* (pág. 198).
- Doorenbos, J., y Pruitt, W. O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements*. Recuperado el 12 de Mayo de 2015, de FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 24 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/docrep/018/f2430e/f2430e.pdf>
- Esmeral, Y., González, C., y Flórez, V. (2011). Evapotranspiración en plantas de rosa cv. Charlotte en condiciones de invernadero en la sabana de Bogotá. I. En V. Flórez, *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (págs. 109-26). Universidad Nacional de Colombia.
- FAO. (2002.). El cultivo protegido en clima mediterráneo. En *Manual preparado por el grupo de Cultivos hortícolas* (pág. 318). Roma: Dirección de Protección y Producción Vegetal.
- Feddes, R. A., y Lenselink, K. J. (1994). Evotranspiration. *Drainage principles and applications.*, pp. 145–173.
- Fernández, M., Bonachela, S., Orgaz, F., Thompson, R., López, J., M, G., y otros. (2010). Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. *Irrig Sci.* DOI 10.1007/s00271-0120-0210-z.
- Florez, V., y Nieto, C. (2011). Producción y Calidad de Rosa y Clavel Cultivados en Cascarilla de Arroz y Fibra de Coco. En V. Floréz, *Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana* (págs. 80-97). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Galloway, J., Alan, R., y Erisman, J. W. (2008). Transformation of the Nitrogen Cycle: Recent Trends, Questions, and Potential Solutions. *Science*, 320: 889-892.
- García, J., y López, J. (1970). Fórmula para el Cálculo de la Evapotranspiración Potencial Adaptada al Trópico (15°N - 15°S). *VIII Reunión latinoamericana de Fitotécnia*. Bogotá.
- Gleick, P.(2013). Una gota en el océano. *Finanzas y desarrollo*, 50(3), 12-15. Obtenido de <https://www.imf.org/external/Pubs/FT/fandd/spa/2013/09/pdf/gleick.pdf>
- González, C., Quintero, Q., Flórez, V., y Tafur, H. (2015a). Lisímetros de Pesada. En V. Flórez, *Avances en nutrición y manejo de flores de corte* (págs. 85-104). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- González, C., Quintero, M., y Meneses, V. (2011c). Determinación de algunas propiedades hidrofísicas de los sustratos utilizados en cultivos de flores en la sabana de Bogotá. En V. Flórez, *Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana* (págs. 13-40). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- González, C., Quintero, Q., Flórez, V., y Quintero, M. F. (2015b). Lisímetros volumétricos. En V. Flórez, *Avances en nutrición de flores de corte* (págs. 140-165.). Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- González, C., Tafur, H., Flórez, V., y Burbano, R. (2011). Modelación del movimiento de agua en el suelo. En V. Flórez, *Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana* (págs. 40-63). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Goss, M. J., y Ehlers, W. (2009). The role of lysimeters in the development of our understanding of soil water and nutrient dynamics in ecosystems. *Soil Use and Management*, 25(3), 213–223.
- Grassi, C. (1988). Fundamentos de Riego (CIDIAT - M.). CIDIAT.
- Grillo, F. M. (1983). Determinación de la Evapotranspiración con Lisímetros. *Acta Agronómica*, XXI, 179–196.
- Guerrini, I.A. y R.M. Trigueiro. (2004). Physical and chemical attributes of substrates composed of biosolids and carbonized rice chaff.
- Gutierrez, A. (2014). *Fibra de Coco*. Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de <https://www.veoverde.com/2014/05/fibra-de-coco>
- Hargreaves, G. H. and Samni, Z. A.: 1982, 'Estimation of Potential Evapotranspiration', Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers 108, 223–230.
- Harroid, L. L. (1966). Measuring evapotranspiration by lysimetry. *Proc. Amer. Soc Agr. Eng.*, 28-33.
- Herrera, y Liedgens. (2002). Leaching y Utilization of N During a Spring Wheat Catch Crop Succession. En *TECHNICAL REPORTS: GROUND WATER QUALITY* (págs. 1410-141).
- Hillel, D. (1985). *Advances in Irrigation*. Florida: Academic Press Inc LTD.
- Howell, T. A., Schneider, A. D., y Jensen, M. E. (1991). *History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements*. American Society of Civil Engineers. Recuperado el 20 de Junio de 2015, de <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?72381>
- ITC. (2015). <http://www.intracen.org/itc/sectors/floriculture/>.ITC.
- Jarchenko. (1966). *S.I.Hidrología de las tierra de regadío*.

- Jarchenko. (1968). *S.I. Metodología de los estudios lisimétricos*.
- Jensen, M. E., y Haise, H. R. (1963). Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Irrig. Drain. Div*, 15-41.
- Jolliet, O., y Bailey, B. J. (1992). The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. *Agric For Meteorol*, 58:43–62.
- Kashyap, P., y Panda, R. (2001). Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid región. *Agricultural Water Management* 50, 9-25.
- Kelly, E. J., Bell, D. I., y Johnstone, T. L. (1998). Lysimeter studies to investigate the leaching of Am-241 from low level radioactive waste. *Alloys Compd*, 271, 227–230.
- Lanthaler, C. (2004). Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe. *Karl-Franzens-University Graz*.
- Linares, H. (2004). *Secretaría de la reforma Agraria*. Recuperado el 24 de 03 de 2013, de Curso virtual Producción del clavel en invernadero.: <http://www.sra.gob.mx>.
- Lopez, J. (1970). *Lisímetros*. Mérida.: CIDIAT - Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial.
- Luo, Y., y Sophocleous, M. (2010). *Seasonal groundwater contribution to crop-water use assessed with lysimeter observations and model simulations*.
- Makkink, G. F.: 1957, 'Testing the Penman Formula by Means of Lysimeters', *J. Instit. Water Engineers* 11, 277–288.
- Martínez, P., y Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En F. R, *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (págs. pp37-78). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Medrano, E. A., Sanchez-Guerrero, M., y Lorenzo, P. (2008). Programación del riego en cultivo de tomate en sustrato mediante la modelización de la transpiración y el desarrollo foliar. *XXVI Congreso Nacional de Riegos: Huesca*, 33-34.
- Mitsch, W.J., y Day, J.W., 2006. Restoration of wetlands in the Mississippi-Ohio-Missouri (MOM) River Basin: experience and needed research.
- Möller, M., Tanny, J., Li, Y., y Cohen, S. (2004). Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 127:35-51.

- 
- Monsalve, Saénz G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá D.C, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Montero, J., Antón, A., Muñoz, P., y Lorenzo. (2001). Transpiration from geranium grown under high temperatures and low humidities in greenhouses. *Agricultural and Forest*, Vol. 107, 323-332.
- Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., y Maquiera, A. (2003). Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Communications in soil Science and Plant Analysis*, 34(3-4):53-605.
- Olalla, S., López, P., y Calera, A. (2005). *Agua y Agronomía*. España: Ediciones Paraninfo.
- Papafotiou, M., Chronopoulos, J., Kargas, G., Voreakou, M., Leodaritis, N., Lagogiani, O., y otros. (2001). Cotton gin trash compost and rice hulls as growing medium components for ornamentals. *J. Hort. Sci. Biotech*, 76:431-435.
- Pelton, W. L., y Korven, H. C. (1961). Evapotranspiration measurements. *Can. Agr*, 12: 8-9.
- Penman, H. L. (1948). Natural Evaporation from open water, bare soil and Grass. In *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. (Vol. 193, pp. 120–145).
- Pérez, S. (2003). *Manual de establecimiento y prácticas de manejo para el cultivo del clavel (Dianthus caryophyllus L) en Colombia*. Bogotá: Primera edición. Universidad Nacional de Colombia .
- Perrier, A., Katerji, N., Gosse, G., y Itier, B. (1980). Etude «in situ» de l'évapotranspiration réelle d'une culture de ble. (In situ study of evapotranspiration rates for a wheat crop). *Agric. Meteorol.* 21, 295-311.
- Pizano, M. (2000). *El cultivo del clavel*. . Hortitecna.
- Priestley, C. H., y Taylor, R. J. (, 1972). On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Revie*, 100, p. 81-92.
- Pruitt, W., y Angus, D. (1960). Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration. *Trans. ASAE* 3, 13-18.
- Pulido, B Antone. (2014). Nociones de hidrologia para ambientólogos.
- Quintero, M. F., González, C., y Flórez, V. (2006). Physical and hydraulic propertis of four substrates used in the cut flower industry in Colombia. *Acta horticulturae*, 718:499-506.

- Quintero, M. F., González, C., y Guzmán, J. (2011). Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. En V. Floréz, *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo* (págs. pp 79-108). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Rijtema, P. (1965). Analysis of actual evapotranspiration. Wageningen, Países Bajos: Agric. Res. Rep. No 69, Centre for Agric. Publ. and Doc.
- Romo, M. P. (2011). Tendencias tecnológicas en la fertirrigación de cultivos de flores en Colombia. En V. Florez, *Avances sobre fertirriego en la floricultura Colombiana* (págs. 80-105). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Rosenberg, N. J. (1974). Microclimate. *The biological environment*, 5-15
- Salinger, J. P. (1991). Producción comercial de flores. Zaragoza.: Acribia S. A.
- Sanchez, P. (1981). *Suelos del trópico: características y manejo*. San José de Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA.
- Sandoval, Rafael. González, Carlos. Murillo, Flórez, Victor.(2014) Consumo De Agua De Miniclavel En Tiempo Real,24-32
- Sophocleous, M., y Luo, Y. (2010). Seasonal groundwater contribution to crop-water use assessed with lysimeter observations and model simulations. *Journal of Hydrology*,, 389(3-4), 325–335.
- Soppe, R., y Ayars, J. (2003). Characterizing ground water use by safflower. *Agricultural Water Management*, 59–71.
- Stanghellini, C. (1987). Evapotranspiration in greenhouses with special reference to mediterranean conditions. *Acta Hort. (ISHS)*, 335:295-304.
- Stanley, W., Southard, J., y Graham, P. (2011). *Soil Genesis and Classification*. Iowa: Wiley Blackell.
- Stefano, C., y Ferro, V. (1997). Estimation of evapotranspiration by Hargreaves formula and remotely sensed data in semi-arid mediterranean areas. *Journal Agric. Engng Res* 68, 189-199.
- Tanner, C. (1967). *Measurement of evapotranspiration. Irrigation of agricultural lands*. Wisconsin USA: Madison.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38(1), 55–94.
- Tuccy, M. C., Beltran, S., y L, F. (1993). Evaporação y evapotranspiração. In Hidrologia: Ciência y aplicação. Rio Grande do Sul. Editora da Universidade Rio Grande do Sul.

- 
- Turc, L.: 1961, 'Estimation of Irrigation Water Requirements, Potential Evapotranspiration: A Simple Climatic Formula Evolved Up to Date', *Ann. Agronomy* 12, 13–49.
- Tzenova, L. K. (1978). Los lisímetros y su utilización (Informe de Recapitulación). *Riego Y Drenaje*, 1, 87–112.
- Van Bavel, C., y Myers, I. E. (1962). An automatic weighing lysimeter. *Agr.Eng*, 43:580-583, 586.
- Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 44: 892–898.
- Van Hoom, J., Katerji b, N., y Hamdy, A. (1997). Long-term salinity development experiment. *Agric. Water Manage.*, 47-55.
- Vélez , Nohora. A. (2012). *Comportamiento de macronutrientes en un sistema de cultivo sin suelo para clavel estándar cv. Delphi con recirculación de drenajes en la Sabana de Bogotá*. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia.
- Verdugo, R, G. (2007). Produccion de flores cortadas. En G. Verdugo R, A. Vasquez M, F. Zarate, y Y. Erices, *Manuales FIA de Apoyo a a la Formacion de Recusos Humanos para la Innovacion Agraria* (págs. 9-10). Santiago, Chile: Salviat.
- White, R. (2002). *Approximate soil moisture/tension values for the "knee-of-the-curve", and Managed Allowable Oepletion for 12 Soil T extural Classifications*. California: Center for Irrigation Technology, Cal State Univ. Fresno.
- Yahya, A., S. Anieza, B. Rosli y L. Ahmad.(2009). Chemical and physical characteristics of cocopeat-based media mixtures and their effects on the growth and development of celosia cristata
- Young, M., Wierenga, P., y Mancino, C. (1996). Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies. . *Soil Sci.* 161, 491–501.

## A. Anexo: Archivos Procesados con LisApp

En la Tabla 6-1 se presentan los valores de ET obtenida al procesar los archivos en el software LisApp, en la cual la primera columna *Día* hace referencia a la fecha del archivo que se midió, la columna *promedio lisímetro* que es el resultado de promedio el lisímetro 1 y el lisímetro 2, la columna de *Observación* en la cual hay información del rango en tiempo de la medición en el caso de que no haya sido por el día completo, junto a la cantidad de pulsos que hubo ese día, también hay 3 consideraciones: Extraño, Sin Medición o Ruidoso. Se dice Extraño cuando la medición tuvo muchas fugas, se toma Sin dato cuando en la medición no hubo registro de información y finalmente se dice Ruidoso cuando la medición presenta muchos picos.

Ruido: Los datos con ruido pueden deberse a fuerzas externas a la masa de la planta y el lixiviado que producían variaciones en la balanza. Estos podrían ser una manguera de riego que quedo mal ubicada o el tutoraje del clavel que con el movimiento en otra parte produce variaciones significativas de masa.

Sin Dato: Se debe a un problema de transmisión inalámbrica en un lapso de tiempo en el cual no puede enviar información.

Extraño: Son comportamiento inusuales en las medidas, como variaciones injustificadas de masa o fugas en de agua en alguna parte del sistema.

**Tabla 6-1: Muestra los valores de la Evapotranspiración (ETc) que se obtuvieron para las fechas tomadas, al lado hay una Observación de la Medición que se hizo sobre cada Lisímetro.**

Día	ETc - Lisímetro No. 1 (mm)	Observación Lisímetro No. 1	ETc - Lisímetro No. 2 (mm)	Observación Lisímetro No. 2	ETc - Lisímetro No. 3 (mm)	Observación Lisímetro 3	Promedio ETc Lisímetros No.1 y No.2 (mm)	Pulsos
17/08/2013	1,54	Incompleta	1,74	Incompleta	-	Sin Dato	1,65	2
18/08/2013	1,99	Normal	1,97	Normal	-	Extraño	1,98	2
19/08/2013	1,88	Normal	1,88	Normal	-	Extraño	1,88	2
20/08/2013	2,26	Normal	2,28	Normal	-	Sin Dato	2,27	2

Día	ETc - Lisímetro No. 1 (mm)	Observación Lisímetro No. 1	ETc - Lisímetro No. 2 (mm)	Observación Lisímetro No. 2	ETc - Lisímetro No. 3 (mm)	Observación Lisímetro 3	Promedio ETc Lisímetros No.1 y No.2 (mm)	Pulsos
22/08/2013	1,89	Incompleta	1,87	Incompleta	2,77	Normal	1,88	2
23/08/2013	2,35	Normal	2,39	Normal	-	Sin Medición	2,37	2
24/08/2013	1,96	Normal	1,90	Normal	-	Error Medición	1,91	2
25/08/2013	2,15	Normal	2,17	Normal	-	Error Medición	2,16	2
26/08/2013	2,23	Normal	2,23	Normal	-	Error Medición	2,23	2
27/08/2013	1,72	Normal	1,70	Normal	-	Error Medición	1,71	2
28/08/2013	2,10	Normal	2,08	Normal	-	Sin Medición	2,09	3
31/08/2013	1,91	Normal	1,84	Normal	-	Sin Medición	1,87	2
01/09/2013	2,04	Normal	2,08	Normal	-	Sin Medición	2,06	2
03/09/2013	2,14	Normal	2,14	Normal	-	Sin Medición	2,14	2
04/09/2013	2,00	Incompleta	2,08	Incompleta	-	Sin Medición	2,04	1
07/09/2013	2,02	Incompleta	2,00	Incompleta	-	Sin Medición	2,01	1
08/09/2013	1,90	Normal	1,87	Normal	-	Sin Medición	1,93	3
09/09/2013	2,05	Normal	2,03	Normal	.	Sin Medición	2,04	1
10/09/2013	2,88	Normal	2,88	Normal	-	Error Medición	2,88	1
11/09/2013	2,04	Normal	2,10	Normal	-	Error Medición	2,07	2
12/09/2013	2,15	Normal	2,11	Normal	-	Error Medición	2,13	2
13/09/2013	2,04	Incompleta	2,00	Incompleta	-	Error Medición	2,02	1
14/09/2013	2,00	Incompleta	2,00	Incompleta	-	Error Medición	2,00	1
15/09/2013	1,99	Normal	1,93	Normal	-	Sin Medición	1,96	3
16/09/2013	2,01	Normal	2,05	Normal	-	Ruidoso	2,03	1
17/09/2013	2,82	Normal	2,90	Normal	-	Ruidoso	2,86	1
18/09/2013	2,80	Normal	2,82	Normal	-	Ruidoso	2,81	2
21/09/2013	2,71	Normal	2,77	Normal	-	Sin Medición	2,74	1
26/09/2013	2,06	Normal	2,06	Normal	-	Error Medición	2,06	2
28/09/2013	2,09	Normal	2,09	Normal	-	Error Medición	2,09	2
01/10/2013	2,15	Normal	2,13	Normal	-	Error Medición	2,13	3
02/10/2013	2,04	Incompleta	2,06	Incompleta	-	Ruidoso	2,05	2
03/10/2013	2,74	Normal	2,76	Normal	-	Sin dato	2,76	2
06/10/2013	2,88	Normal	2,88	Normal	-	Extraño	2,88	2
07/10/2013	2,08	Normal	2,09	Normal	-	Sin dato	2,08	2
08/10/2013	2,14	Normal	2,18	Normal	4,2	Normal	2,14	3



Día	ETc - Lisímetro No. 1 (mm)	Observación Lisímetro No. 1	ETc - Lisímetro No. 2 (mm)	Observación Lisímetro No. 2	ETc - Lisímetro No. 3 (mm)	Observación Lisímetro 3	Promedio ETc Lisímetros No.1 y No.2 (mm)	Pulsos
09/10/2013	1,63	Incompleta	1,66	Incompleta	-	Error Medición	1,65	2
10/10/2013	2,09	Normal	2,08	Normal		Error Medición	2,08	1
11/10/2013	3,80	Normal	3,82	Normal	5,08	Normal	3,80	2
12/10/2013	2,75	Normal	2,73	Normal	-	Ruidoso	2,73	1
13/10/2013	2,65	Normal	2,64	Normal	-	Ruidoso	2,65	2
14/10/2013	3,87	Normal	3,87	Normal	-	Ruidoso	3,87	2
15/10/2013	3,17	Normal	3,18	Normal	-	Ruidoso	3,18	3
16/10/2013	3,02	Incompleta	3,07	Incompleta	-	Ruidoso	3,05	2
18/10/2013	3,82	Normal	3,80	Normal	-	Ruidoso	3,81	2
21/10/2013	2,74	Normal	2,74	Normal	-	Ruidoso	2,74	1
26/10/2013	2,68	Normal	2,64	Normal	4	Normal	2,66	2
28/10/2013	3,88	Normal	3,90	Normal	-	Ruidoso	3,89	2
01/11/2013	3,12	Normal	3,15	Normal	-	Ruidoso	3,13	3
02/11/2013	3,04	Incompleta	3,06	Incompleta	-	Ruidoso	3,05	2
03/11/2013	2,55	Normal	2,57	Normal	-	Fuga	2,56	2
04/11/2013	2,82	Normal	2,86	Normal	-	Ruidoso	2,84	2
05/11/2013	2,71	Incompleta	2,79	Incompleta	-	Error Medición	2,74	1
06/11/2013	2,90	Incompleta	2,92	Incompleta	-	Error Medición	2,91	1
08/11/2013	3,14	Normal	3,11	Normal	3,56	Normal	3,13	3
09/11/2013	3,54	Normal	3,54	Normal	-	Ruidoso	3,54	1
10/11/2013	3,09	Normal	3,07	Normal	-	Ruidoso	3,08	1
11/11/2013	3,62	Normal	3,60	Normal	3	Normal	3,61	2
12/11/2013	3,74	Normal	3,74	Normal	-	Ruidoso	3,74	1
13/11/2013	3,67	Normal	3,65	Normal	-	Ruidoso	3,66	2
14/11/2013	3,29	Normal	3,29	Normal	-	Ruidoso	3,29	2
15/11/2013	3,17	Normal	3,19	Normal	-	Ruidoso	3,18	1
16/11/2013	3,07	Normal	3,09	Normal	-	Ruidoso	3,08	1
17/11/2013	3,09	Normal	3,07	Normal	7,3	4 Pulsos	3,08	1
18/11/2013	3,62	Normal	3,60	Normal	-	-	3,61	2
21/11/2013	3,73	Normal	3,75	Normal	7,19	Incompleta	3,74	1
26/11/2013	3,64	Normal	3,68	Normal	-	Ruidoso	3,66	2
28/11/2013	3,29	Normal	3,29	Normal	-	Extraño	3,29	2
01/12/2013	3,19	Normal	3,17	Normal	7,03	Normal	3,18	1

Día	ETc - Lisímetro No. 1 (mm)	Observación Lisímetro No. 1	ETc - Lisímetro No. 2 (mm)	Observación Lisímetro No. 2	ETc - Lisímetro No. 3 (mm)	Observación Lisímetro 3	Promedio ETc Lisímetros No.1 y No.2 (mm)	Pulsos
02/12/2013	3,07	Normal	3,09	Normal	-	Extraño	3,08	1
03/12/2013	3,24	Normal	3,26	Normal	-	Fuga	3,25	2
04/12/2013	3,17	Normal	3,19	Normal	3,75	Normal	3,18	1
05/12/2013	3,07	Normal	3,09	Normal	-	Error Medición	3,08	1
06/12/2013	3,09	Normal	3,07	Normal	5,7	Normal	3,08	1
08/12/2013	2,81	Normal	2,81	Normal	6,17	Normal	2,81	2
09/12/2013	2,61	Normal	2,65	Normal	7,81	Normal	2,63	2
10/12/2013	2,81	Normal	2,93	Normal	-	Error Medición	2,89	2
11/12/2013	2,68	Normal	2,64	Normal	4,8	Normal	2,66	2
12/12/2013	2,87	Normal	2,87	Normal	6,43	Normal	2,87	2
16/12/2013	2,76	Normal	2,72	Normal	5,15	Normal	2,74	1
17/12/2013	2,62	Normal	2,67	Normal	6,015	Normal	2,65	2
18/12/2013	2,68	Normal	2,68	Normal	6,03	Normal	2,68	2
19/12/2013	2,89	Normal	2,89	Normal	6,88	Normal	2,89	2
20/12/2013	2,62	Normal	2,72	Normal	-	Ruidoso	2,67	2
21/12/2013	2,84	Normal	2,88	Normal	-	Error Medición	2,86	2
22/12/2013	2,81	Normal	2,87	Normal	8,48	Normal	2,84	2
23/12/2013	2,62	Normal	2,66	Normal	6	Normal	2,64	2
27/12/2013	2,89	Normal	2,89	Normal	6,4	Normal	2,89	2
01/01/2014	2,02	Incompleta	2,07	Incompleta	4,15	Normal	2,05	2
02/01/2014	2,67	Normal	2,67	Normal	-	Error en Medición	2,67	2
03/01/2014	2,04	Incompleta	2,08	Incompleta	4,53	Normal	2,06	2
04/01/2014	2,68	Normal	2,68	Normal	4,6	Normal	2,68	2
05/01/2014	2,13	Normal	2,13	Normal	4,28	Normal	2,13	3
06/01/2014	2,01	Incompleta	2,03	Incompleta	5	Normal	2,02	2
07/01/2014	2,06	Incompleta	2,06	Incompleta	7,7	Normal	2,06	2
09/01/2014	2,68	Normal	2,71	Normal	6,25	Normal	2,69	2
11/01/2014	2,05	Incompleta	2,05	Incompleta	5,45	Normal	2,05	2
12/01/2014	2,69	Normal	2,68	Normal	4,32	Normal	2,67	2
13/01/2014	2,04	Incompleta	2,04	Incompleta	3,14	Incompleta	2,04	2
15/01/2014	2,67	Normal	2,69	Normal	2,63	Incompleta	2,68	2
17/01/2014	2,20	Normal	2,18	Normal	6,05	Incompleta	2,19	3
18/01/2014	2,01	Incompleta	2,03	Incompleta	6,8	Incompleta	2,02	2

Día	ETc - Lisímetro No. 1 (mm)	Observación Lisímetro No. 1	ETc - Lisímetro No. 2 (mm)	Observación Lisímetro No. 2	ETc - Lisímetro No. 3 (mm)	Observación Lisímetro 3	Promedio ETc Lisímetros No.1 y No.2 (mm)	Pulsos
20/01/2014	2,47	Incompleta	2,47	Incompleta	4,06	Incompleta	2,47	2
21/01/2014	2,43	Normal	2,43	Normal	6,42	Normal	2,43	2
22/01/2014	2,36	Normal	2,36	Normal	-	Error Medición	2,36	2
25/01/2014	2,06	Incompleta	2,08	Incompleta	-	Saturación	2,07	2
26/01/2014	2,09	Incompleta	2,09	Incompleta	6,75	Normal	2,09	2
27/01/2014	2,68	Normal	2,70	Normal	7,65	Normal	2,69	2
10/02/2014	2,09	Normal	2,09	Normal	5,6	Normal	2,09	1
09/04/2014	2,5	Normal	2,1	Normal	-	Error de Medición	2,3	2
22/04/2014	1,9	Normal	1,9	Normal	4,76	Normal	1,9	4
25/04/2014	2,45	Normal	2,45	Normal	-	Error de Medición	2,45	4
26/04/2014	2,35	Normal	2,35	Normal	6,36	Normal	2,35	4
27/04/2014	1,91	Normal	1,91	Normal	2,55	Incompleta	1,91	2
28/04/2014	3,48	Normal	3,48	Normal	1,76	Incompleta	3,48	3
29/04/2014	2,66	Normal	2,66	Normal	2,51	Incompleta	2,66	4
30/04/2014	2,6	Normal	3,0	Normal	-	Ruidoso	2,8	4
04/05/2014	3,57	Normal	3,59	Normal	6,06	Normal	3,58	3
09/05/2014	2,78	Incompleta	2,76	Incompleta	6	Sin Dato	2,77	2
10/05/2014	1,94	Incompleta	1,93	Incompleta	6,4	Extraño	1,96	1
17/05/2014	2,41	Aceptable	2,41	Aceptable	4,15	Extraño	2,41	4
19/05/2014	2,85	Normal	2,85	Normal	-	Sin Dato	2,85	4
28/05/2014	2,97	Normal	2,95	Normal	4,53	Normal	2,99	4
29/05/2014	3,15	Normal	3,11	Normal	-	Sin Medición	3,13	3
30/05/2014	3,14	Normal	3,14	Normal	-	Error Medición	3,14	3
03/06/2014	3.083	Normal	3.083	Normal	-	Error Medición	3.083	3
04/06/2014	4,14	Normal	4,10	Normal	-	Error Medición	4,12	4
07/06/2014	2,87	Normal	2,87	Normal	2,77	Error Medición	2,87	4
24/06/2014	2,75	Normal	2,75	Normal	-	Sin Medición	2,75	4
25/06/2014	2,3	Normal	2,3	Normal	-	Sin Medición	2,3	4
26/06/2014	4,7	Normal	4,7	Normal	-	Sin Medición	4,7	3
27/06/2014	4,9	Normal	4,9	Normal	-	Sin Medición	4,9	4
29/06/2014	3,47	Normal	3,47	Normal	-	Sin Medición	3,47	3
30/06/2014	2,72	Normal	2,72	Normal	-	Sin Medición	2,72	4
02/07/2014	4,32	Normal	4,32	Normal	-	Sin Medición	4,32	3

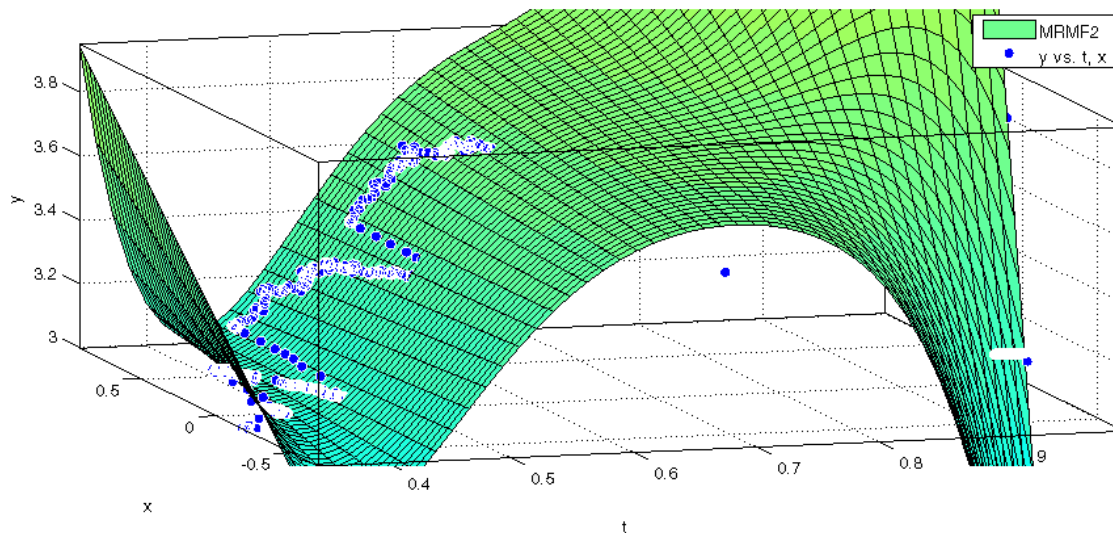
Día	ETc - Lisímetro No. 1 (mm)	Observación Lisímetro No. 1	ETc - Lisímetro No. 2 (mm)	Observación Lisímetro No. 2	ETc - Lisímetro No. 3 (mm)	Observación Lisímetro 3	Promedio ETc Lisímetros No.1 y No.2 (mm)	Pulsos
03/07/2014	5,94	Normal	5,94	Normal	-	Sin Medición	5,94	4
04/07/2014	2,59	Incompleta	2,59	Incompleta	-	Error Medición	2,59	3
07/07/2014	2,33	Normal	2,33	Normal	-	Error Medición	2,33	2
10/07/2014	3,5	Normal	3,5	Normal	-	Error Medición	3,5	3
17/07/2014	4,41	Normal	4,50	Normal	-	Error Medición	4,46	3
21/07/2014	2,55	Normal	2,55	Normal	.	Error Medición	2,55	2
22/07/2014	3,2	Normal	3,6	Normal	-	Sin Medición	3,4	3
23/07/2014	3,3	Normal	4,1	Normal	-	Ruidoso	3,9	2
25/07/2014	3,7	Normal	4,0	Normal	-	Ruidoso	3,9	2
30/07/2014	2,92	Normal	2,97	Normal	-	Ruidoso	2,95	2
01/08/2014	4,07	Normal	4,07	Normal	-	Sin Medición	4,073	3
02/08/2014	3,41	Incompleta	3,49	Incompleta	-	Error Medición	3,45	2
17/08/2014	3,62	Incompleta	3,67	Incompleta	-	Error Medición	3,65	2
18/08/2014	3,95	Normal	4,01	Normal	-	Error Medición	3,98	2
19/08/2014	3,88	Normal	3,88	Normal	-	Ruidoso	3,88	2
20/08/2014	3,27	Normal	3,27	Normal	-	Sin dato	3,27	2
22/08/2014	1,89	Incompleta	1,87	Incompleta	-	Extraño	1,88	2
23/08/2014	3,37	Normal	3,37	Normal	-	Sin dato	3,37	2
24/08/2014	2,93	Normal	2,90	Normal	-	Normal	2,91	2
25/08/2014	2,16	Normal	2,16	Normal	-	Error Medición	2,16	2
26/08/2014	2,23	Normal	2,23	Normal	-	Error Medición	2,23	2
27/08/2014	2,71	Normal	2,71	Normal	-	Normal	2,71	2
29/08/2014	4,08	Normal	4,10	Normal	-	Ruidoso	4,09	3
31/08/2014	3,86	Normal	3,88	Normal	4,2	Ruidoso	3,87	2
02/09/2014	2,56	Normal	2,56	Normal	-	Ruidoso	2,56	2
03/09/2014	2,82	Normal	2,86	Normal		Ruidoso	2,84	2
04/09/2014	2,14	Incompleta	2,14	Incompleta	5,08	Ruidoso	2,14	1
07/09/2014	2,91	Incompleta	2,91	Incompleta	-	Ruidoso	2,91	1
08/09/2014	3,95	Normal	3,91	Normal	-	Ruidoso	3,93	3
09/09/2014	2,54	Normal	2,54	Normal	-	Normal	2,54	1
10/09/2014	1,08	Normal	1,08	Normal	-	Ruidoso	1,08	1
18/09/2014	3,81	Normal	3,81	Normal	-	Ruidoso	3,81	2
21/09/2014	4,72	Normal	4,76	Normal	-	Ruidoso	4,74	1

Día	ETc - Lisímetro No. 1 (mm)	Observación Lisímetro No. 1	ETc - Lisímetro No. 2 (mm)	Observación Lisímetro No. 2	ETc - Lisímetro No. 3 (mm)	Observación Lisímetro 3	Promedio ETc Lisímetros No.1 y No.2 (mm)	Pulsos
26/09/2014	4,66	Normal	4,66	Normal	-	Fuga	4,66	2
28/09/2014	3,89	Normal	3,89	Normal	4	Ruidioso	3,89	2
01/10/2014	4,191	Normal	4,195	Normal	-	Error Medición	4,193	3
08/10/2014	3,001	Incompleta	3,009	Incompleta	-	Error Medición	3,005	2

## B. Anexo: Modelo de Repetibilidad Del Modelo Físico.

A continuación se muestran los modelos de repetibilidad, los cuales fueron usados como criterio para hacer válida una serie de mediciones o no para la investigación. se hace uso de la herramienta SurfaceFittingTool proporcionada por Matlab, para obtener los modelos matemáticos del sistema para varios días escogidos aleatoriamente y compararlos, para evaluar la repetibilidad del sistema físico. El modelo se ajusta bien a los datos si las diferencias entre los valores observados y los valores previstos del modelo son pequeños.

**Figura 6-1: Superficie de Comportamiento del Lisímetro 1 de la finca de Marengo para el 17 Marzo de 2014**



*SSE: 7.88*

*R-square: 0.9451*

*Adjusted R-square: 0.9446*

*RMSE: 0.08333*

**Figura 6-2: Comportamiento del Lisímetro 1 de la finca de Marengo para el 17 Marzo de 2014**

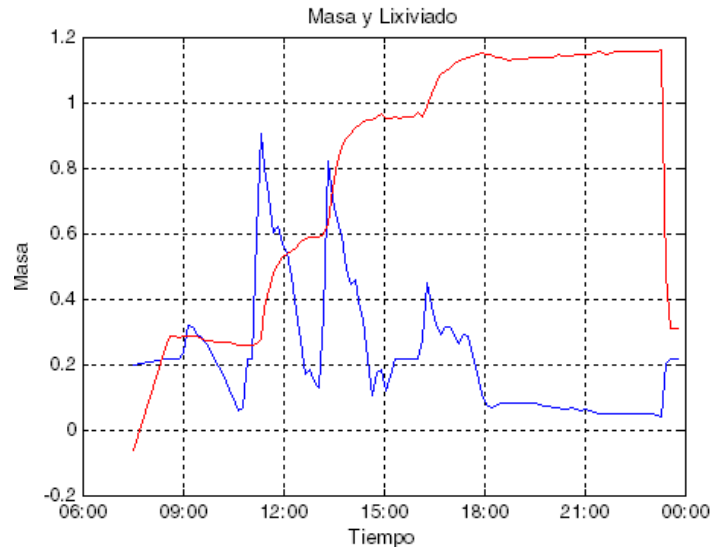
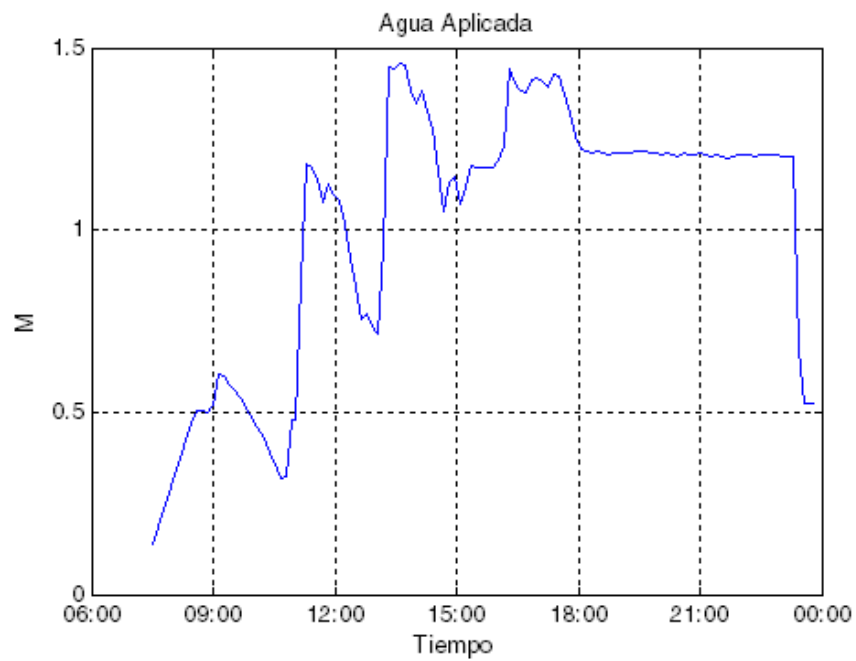
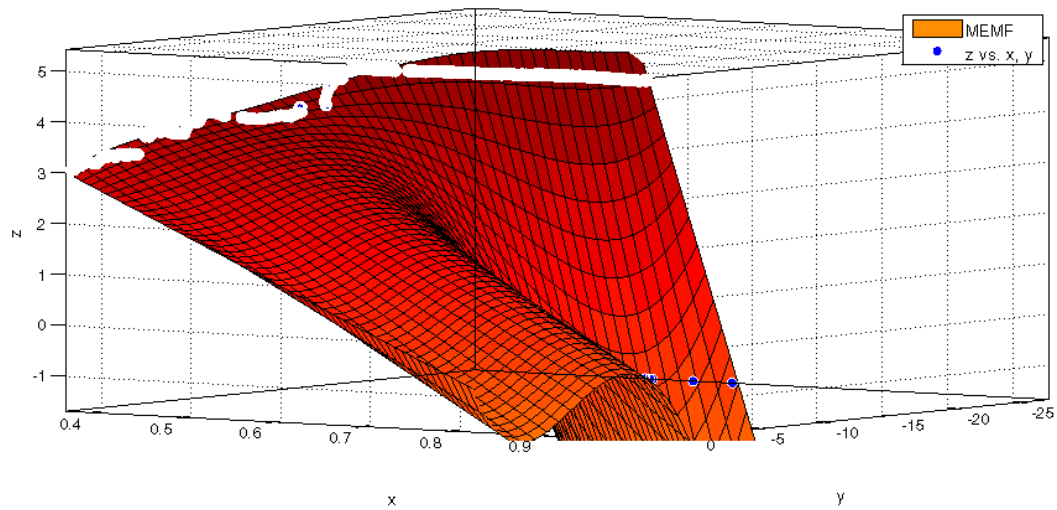


Figura 6-3: Gráfica de la ET=4,08 mm para el 17 Marzo de 2014.



**Figura 6-4: Superficie de Comportamiento del Lisímetro 1 de la finca de Marengo para el 17 Marzo de 2014.**



*SSE: 590.1*

*R-square: 0.9799*

*Adjusted R-square: 0.9799*

*RMSE: 0.1113*

**Figura 6-5: Comportamiento del Lisímetro 2 de la finca de Marengo para el 8 de Enero de 2014.**

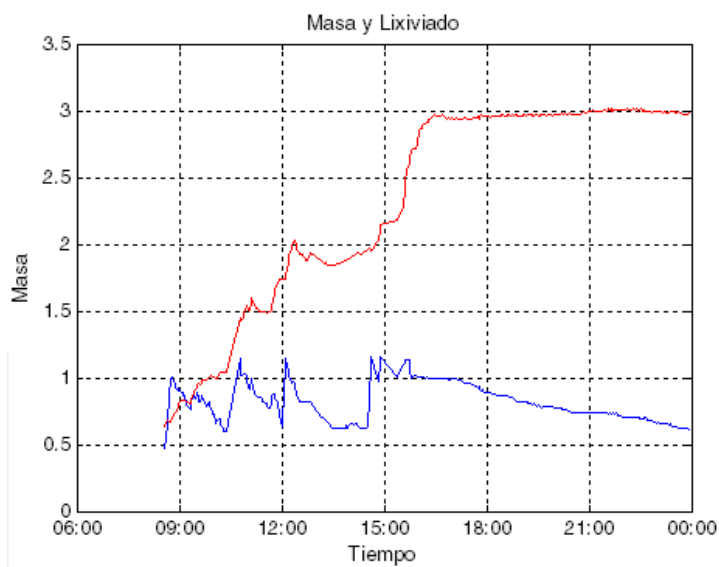




Figura 6-6: Gráfica de la ET= 3,36 mm el 8 de Enero de 2014.

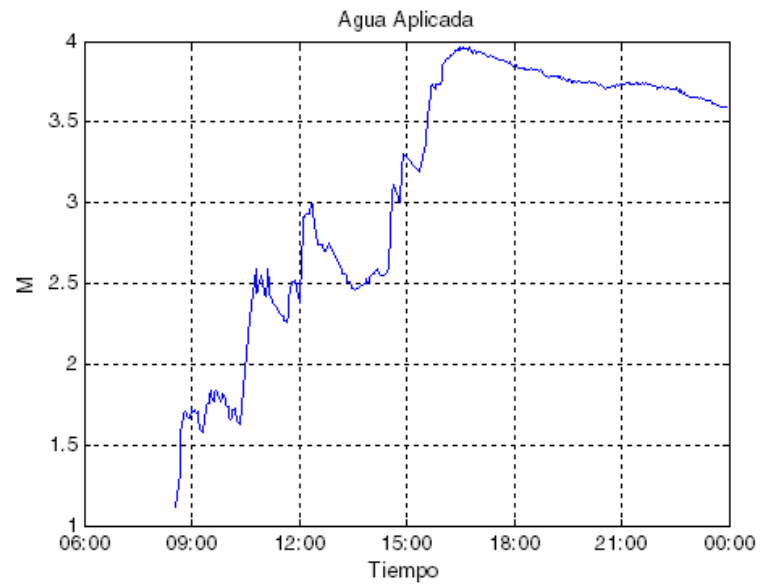
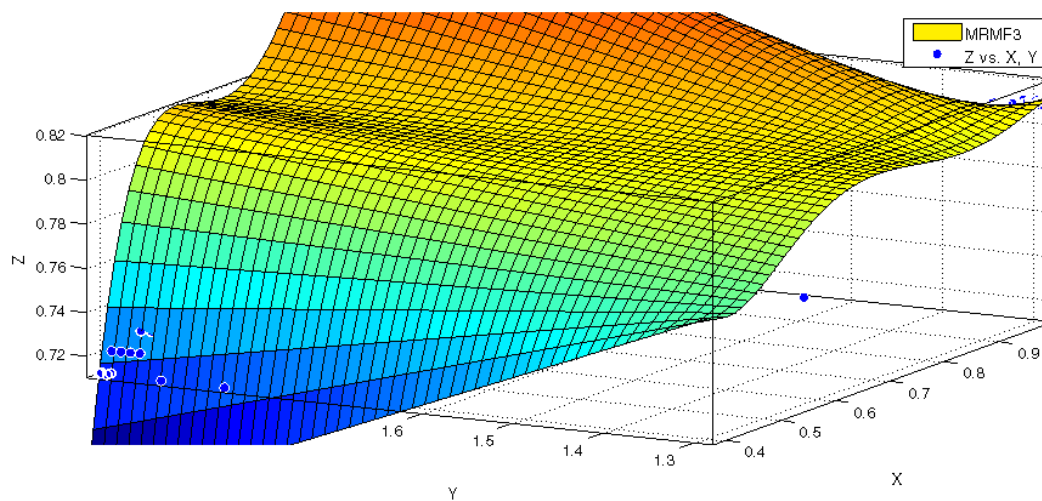


Figura 6-7: Superficie de Comportamiento del Lisímetro 2 de la finca de Marengo para el 4 de Junio de 2014.



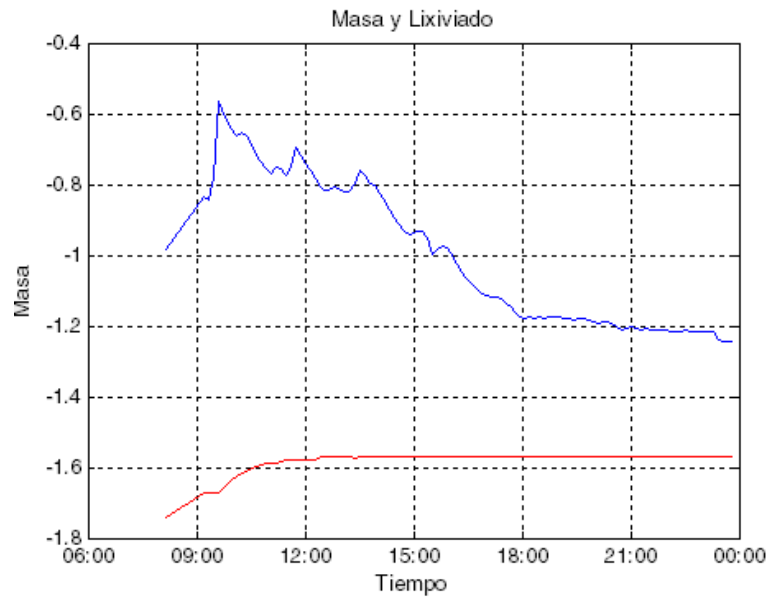
SSE: 0.01205

R-square: 0.9826

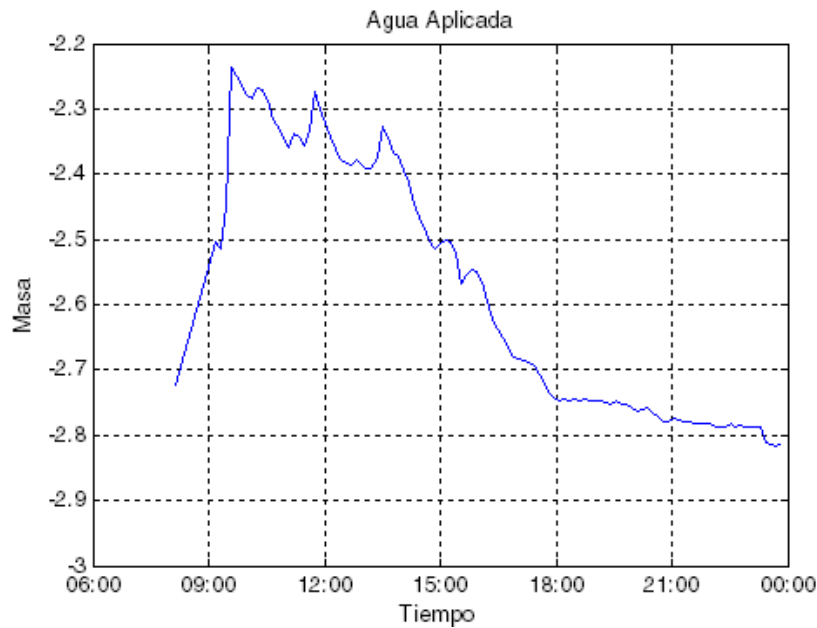
Adjusted R-square: 0.9824

RMSE: 0.003305

**Figura 6-8: Comportamiento del Lisímetro 1 de la finca de Marengo para el 4 de Junio de 2014.**



**Figura 6-9: Gráfica de la ET= 3,58mm el 8 de Enero de 2014.**



## C. Anexo: Script de Python

El siguiente script efectúa la conversión los datos tomados por los lisímetros para su posterior lectura en Matlab:

```
import sys

from PyQt4 import QtGui,QtCore

classInputDialog(QtGui.QMainWindow):

    def __init__(self):

        QtGui.QMainWindow.__init__(self)

        self.setGeometry(100,100,320,280)

        self.setWindowTitle("Conversor .MAT - S. Lavao")

        self.statusBar().showMessage("Carga de Archivo")

        self.setToolTip ("ventana Principal")

        self.boton=QtGui.QPushButton("Convert",self)

        self.boton.setGeometry(135,50,70,35)

        self.connect(self.boton, QtCore.SIGNAL("clicked()"), self.cargar)

    defcargar (self):

        fname = QtGui.QFileDialog.gEOpenFileName(self, 'Open file','/home')

        f=open(fname,"r")

        lineas=f.readlines()

        n=open("lisimetro.csv","a")
```

```
for li in lineas:
var=self.reducir(li)
n.write(var)
f.close()
n.close()
#fname = open(filename, 'w')
#fname.write("hola")
#fname.close()
#print "se ha guardado :)"
def reducir(self, linea):
linea=linea.split(",")
## primero=linea[0].split("-")
## primero=",".join(primero)
segundo=linea[1].split(":")
segundo=",".join(segundo)
## linea[0]=primero
linea[1]=segundo
linea=",".join(linea)
linea=linea.split(',')
hora=int(linea[1])
minuto=int(linea[2])
segundo=int(linea[3])
tiempo=str(round(((hora/24)+(minuto/1440)+(segundo/86400)),4))
linea[0]=tiempo
## linea.append(tiempo)
```

```
linea=",".join(linea)
```

```
## linea+=","+tiempo+ '\n'
```

```
returnlinea
```

```
app=QtGui.QApplication(sys.argv)
```

```
icon=InputDialog()
```

```
icon.show()
```

```
app.exec_()
```

**D. Anexo: Manual de Software  
LisApp**

# LisApp System

Sergio Andrés Lavao Pastrana

Ingeniero Agrícola

## Introducción

LisAppSystem es un sistema de gestión de datos desarrollado con tecnología de software ejecutada por Matlab y Python que le permite realizar una labor en el manejo de volúmenes de datos considerables, para su posterior manipulación

Al diseñar esta versión del programa se espera la mayor exactitud en cuanto los resultados esperados, y generar los criterios de control que se usaran para el control de riego por criterio de lisímetros

## Contenido del manual

Este manual contiene las siguientes partes:

- **Parte I, “Descripción del sistema”** presenta una relación de todos los elementos que componen el sistema LisAppSystem, la interconexión entre ellos, los requerimientos para su ensamblado y puesta en funcionamiento.
- **Parte II, “Elementos de software”** describe detalladamente el funcionamiento y la forma de configurar el software de LisAppSystem, sus alcances y limitaciones.



## Descripción del sistema

En los capítulos de “Descripción del Sistema” se presentan los conceptos, elementos e interconexión de todos los componentes del sistema.

Esta sección contiene los siguientes capítulos:

### **Conceptos generales**

Aquí se mencionan los conceptos generales necesarios para una comprensión del resto del manual.

### **Software**

En este capítulo se describen todos los elementos de software que componen el sistema y su funcionamiento.

## Conceptos generales

Un sistema por control de lisímetros permite generar gráficas de los datos obtenidos por los lisímetros diariamente, para decidir criterios de riego. El concepto involucra diferentes elementos científicos y técnicos.

Es importante conocer cada uno de estos términos en detalle pues se utilizan con bastante regularidad durante todo el manual

## Ingreso al sistema

Para ingresar al sistema, es necesario tener Python con el Complemento PyQt4, ya que los datos obtenidos tienen un formato que no es compatible con Matlab, por lo tanto se procede a abrir el archivo "Conversor.py", el cual arroja la interfaz mostrada en la siguiente figura:

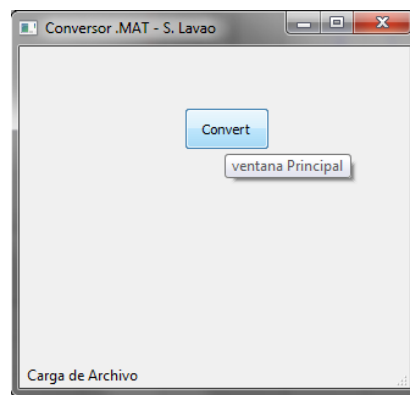


Figura 1. Interfaz del Convertidor

Luego de esto, se hace click en el botón "Convert" y se abre la siguiente Ventana.

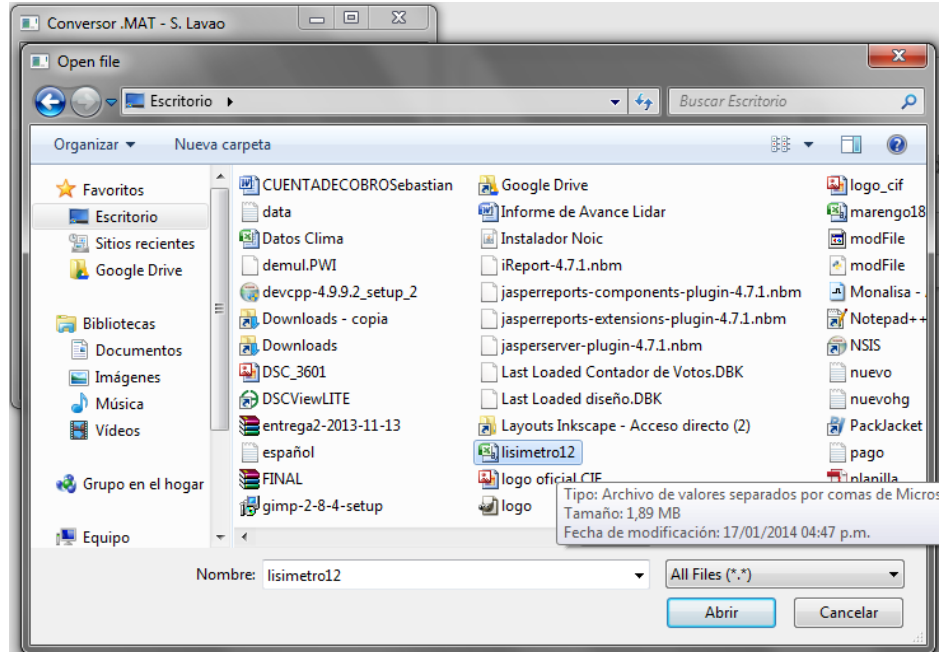


Figura 2. Interfaz de selección de archivo

En este paso se selecciona el archivo que se desea convertir, el archivo que genera este programa se llama "lisimetro.csv", éste debe ser copiado a la carpeta donde se encuentra la carpeta de la aplicación

Se carga la carpeta que contiene todos los archivo, dándole click en el boton encerrado por el circulo verde

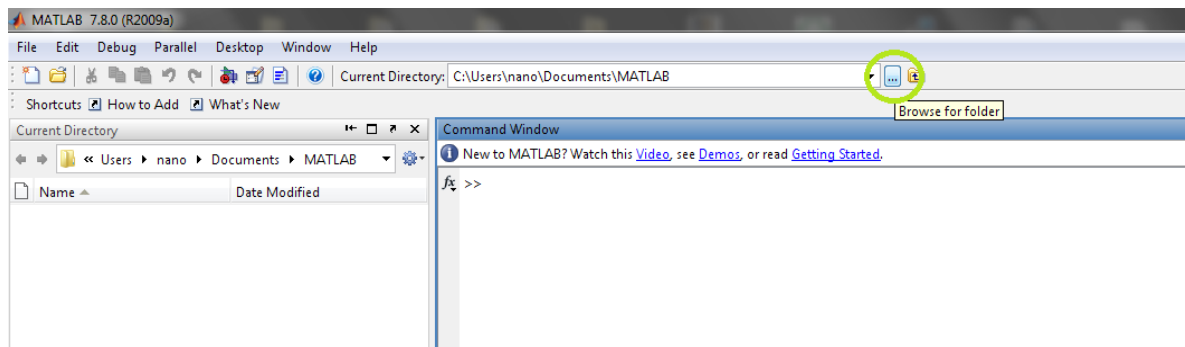


Figura 3. Selección Software LisApp

A continuación se cargan los archivos y seleccionamos con click derecho el archivo llamado *GuiFourier.fig* y le damos en la opción *Open in GUIDE*

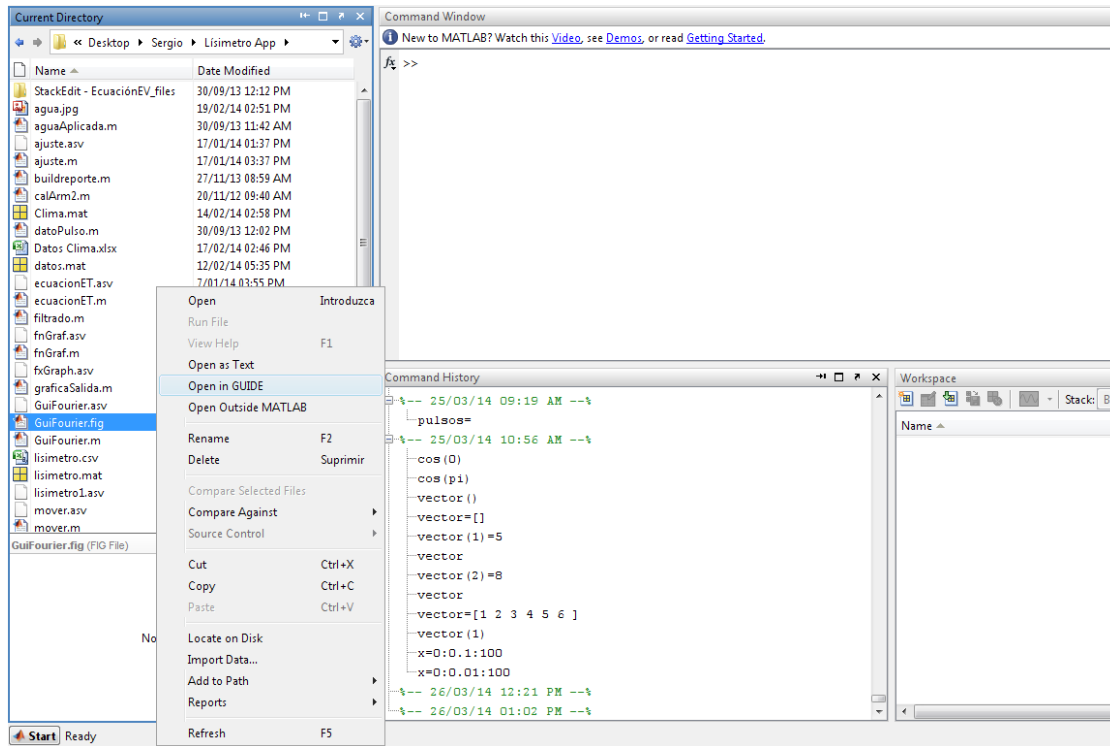


Figura 4. Interfaz de Matlab con el directorio de archivos de LisApp

Luego se genera la siguiente interfaz y le damos click en el boton verde de "play"

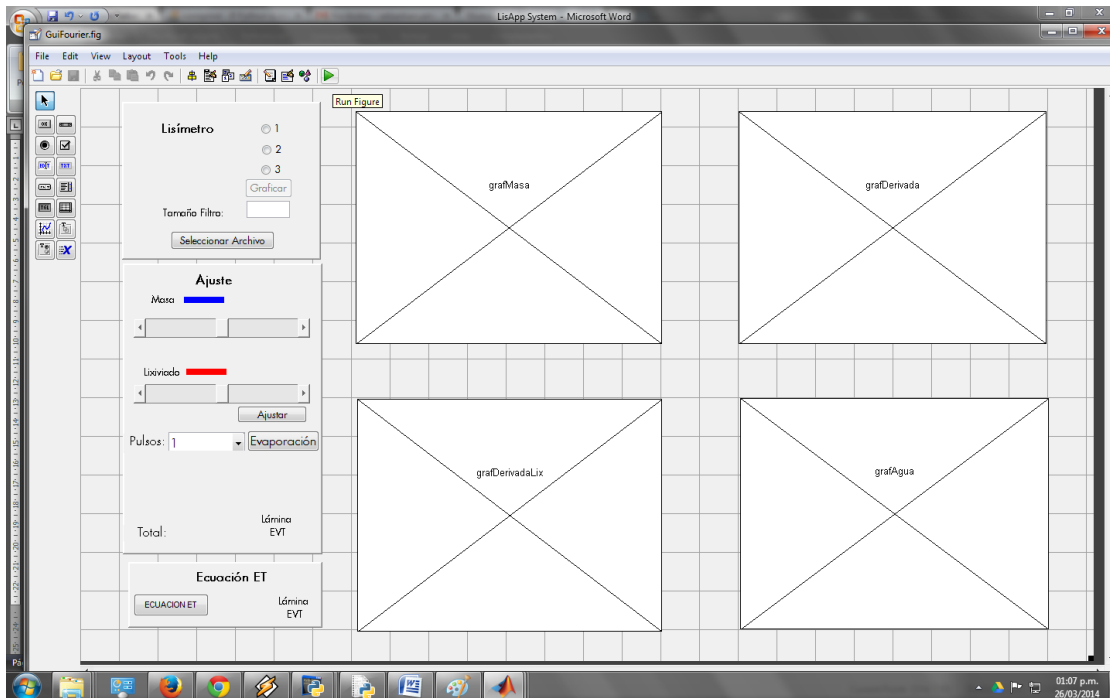


Figura 5. Modelo de interfaz al ejecutar el archivo .GUI

Se genera la interfaz real donde se vana a manipular los datos. De la interfaz siguiente, se encuentra 4 bloques de graficas, cada uno correespones como sigue.

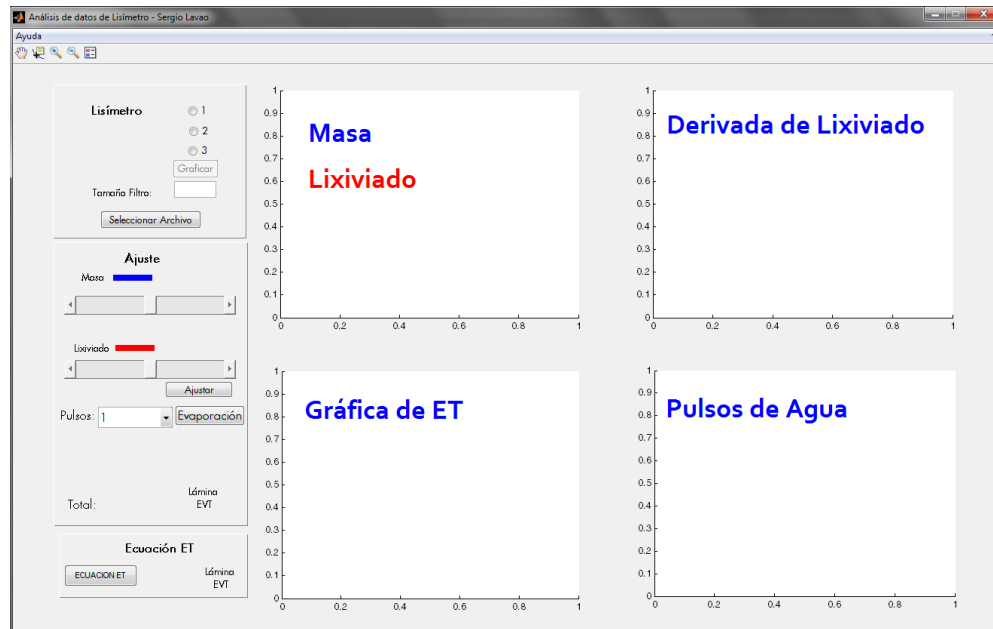


Figura 6. Interfaz de Software con especificaciones de espacios.

Ahora se procede a abrir el archivo a graficar. para esto seleccionamos el botón *Seleccionar Archivo*

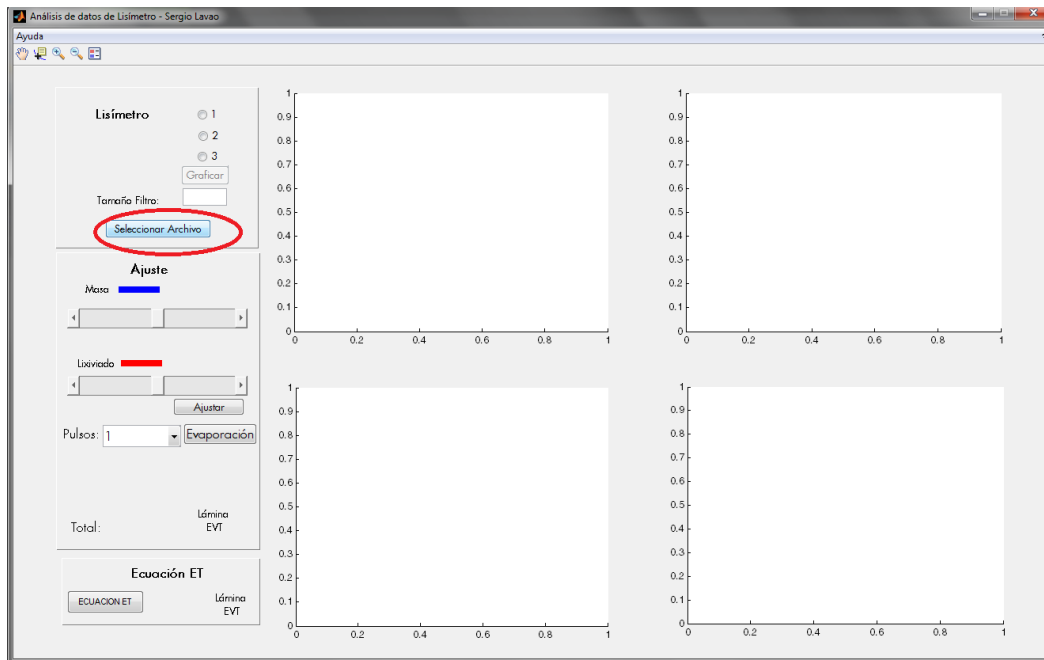


Figura 6. Sección de selección de archivo *.mat*

En el botón "Seleccionar Archivo", se elige siempre el archivo *lisímetro*, que es de tipo *.mat*.

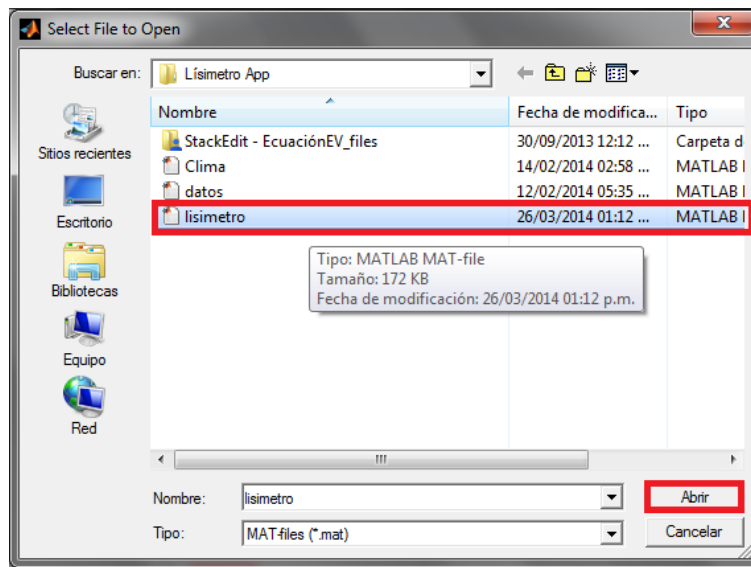


Figura 7. Interfaz de selección de archivo *.mat*

A continuación hay que seleccionar el lisímetro a analizar, hay 3 posibilidades, lisímetro 1, 2 o 3, sólo se puede seleccionar uno a la vez.

Como sigue se selecciona un tamaño de filtro ya que hay un gran volumen de datos, acto seguido se hace click sobre "Graficar", es mandatorio tener el archivo cargado, un tamaño de filtro asignado y un lisímetro seleccionado para poder graficar.

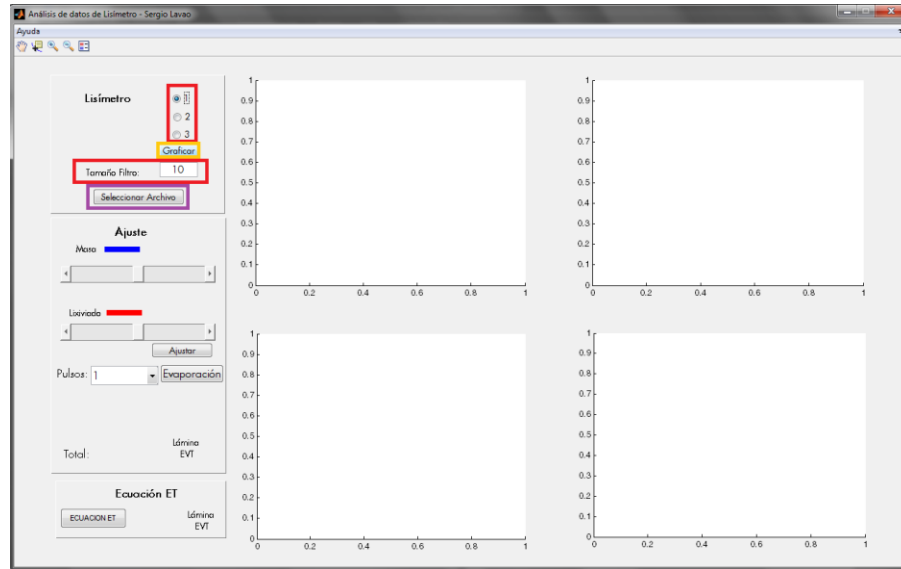


Figura 8. Selección de lisímetro a analizar y del filtro de la medida

Se genera la siguiente gráfica luego de hacer click en el botón de Graficar (*cuadrado amarillo*)

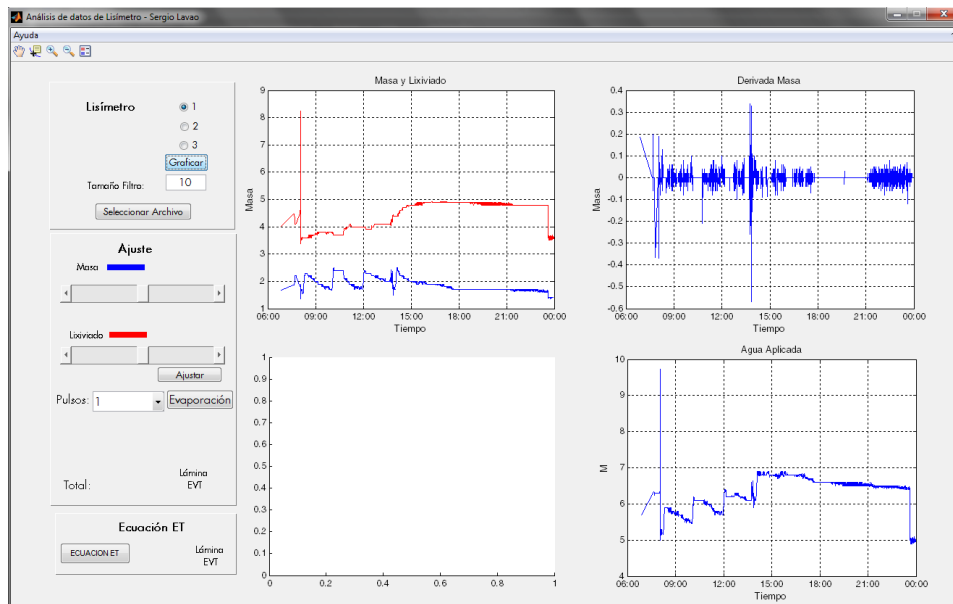


Figura 9. Interfaz de resultado para un filtro de 10 aplicado en el *lisímetro 1*

Para efectos de análisis se tiene que tener la línea del lixiviado empezando desde cero, y la de masa terminando en cero. Esto se hace con el bloque de *Ajuste*, el cual desplaza la gráfica al valor que se indique en las barras horizontales de Masa y Ajuste. Como se muestra en la siguiente gráfica. Cada vez que se mueva la barra de masa o Lixiviado hay que darle click en ajustar para que realice el cambio en todos los datos. En los número debajo de las barras de desplazamiento (Cuadros color vinotinto) dice la cantidad que se ha desplazado cada gráfica.

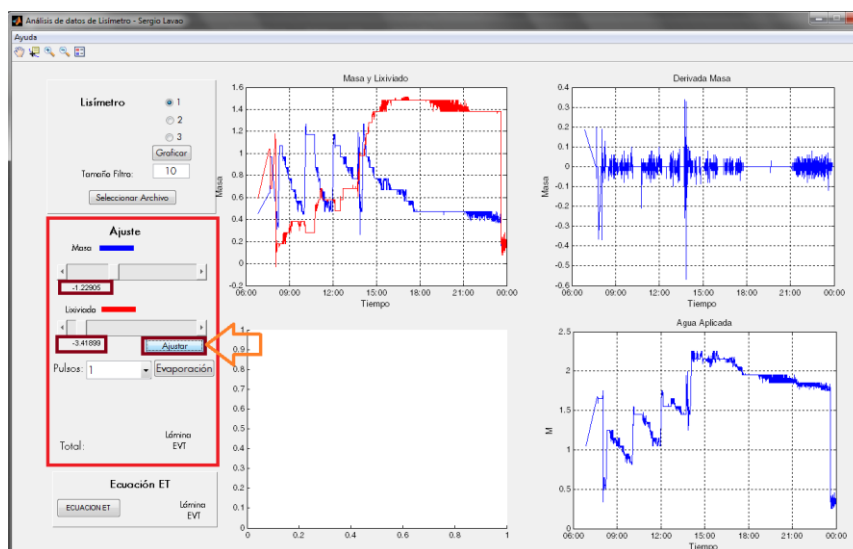


Figura 10. Especificaciones de campos de ajustes

Luego se procede a graficar el archivo que genera Marengo, este archivo Excel debe estar modificado de tal manera, que los datos a evaluar estén por día, es decir que sólo estén los datos tomados en un determinado día o los que se deseen evaluar por un día, esto se hace creando un archivo de manera manual que tenga los datos y se copian los datos de una fecha determinada. Este archivo luego de ser creado o modificado se guarda en la carpeta de la aplicación y se nombra como sigue: *Datos Clima.xlsx* luego de hacer eso se procede a dar click en el bloque de **Ecuación ET** en el botón de *ECUACION ET* y genera la siguiente gráfica.



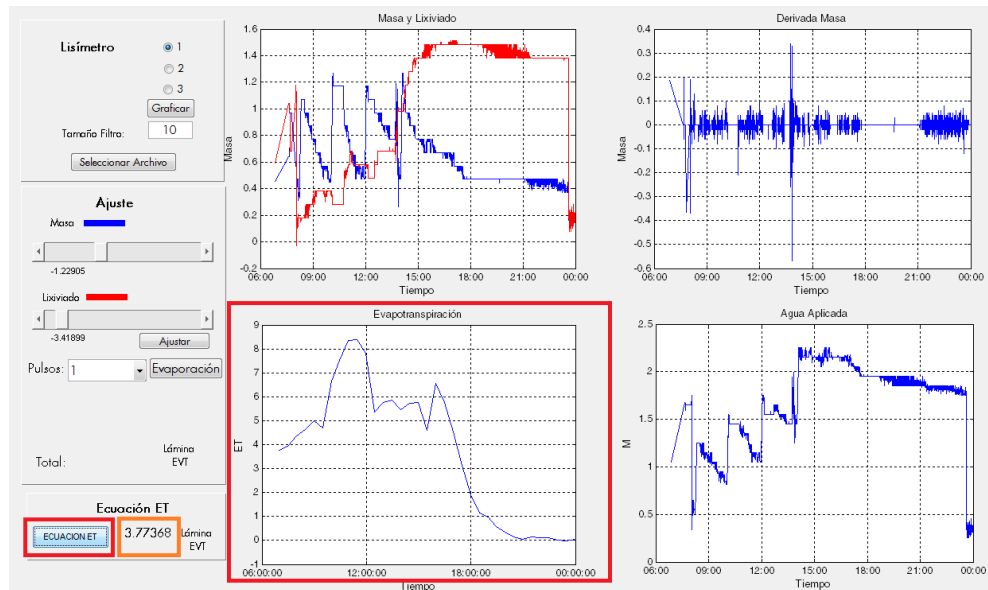


Figura 11. Especificación de campos para variables climáticas

El cuadro naranja corresponde al dato teórico el cual es calculado por la integral de la función generada luego de tratar los datos de marengo, en el eje x tiene el tiempo y el eje y corresponde a la ET en ese momento.

Ahora se procede a obtener la ET que se obtiene de los lisímetros.

Para esto vamos en la barra de herramientas y seleccionamos el icono encerrado por el cuadrado verde

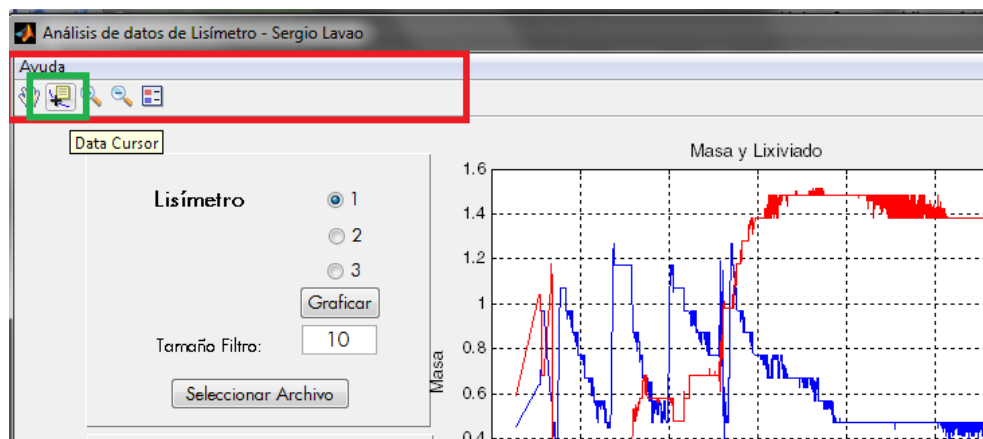


Figura 12. Selección de data cursor

que se llama Data Cursor.

Con el data cursor accedemos a la gráfica de Agua Aplicada y seleccionamos los pulsos a evaluar. Para esto hacemos click sobre la gráfica y seleccionamos el punto. +

Para esto se selecciona la cantidad de pulsos de agua que hubo en un día, como se muestra en la siguiente gráfica.

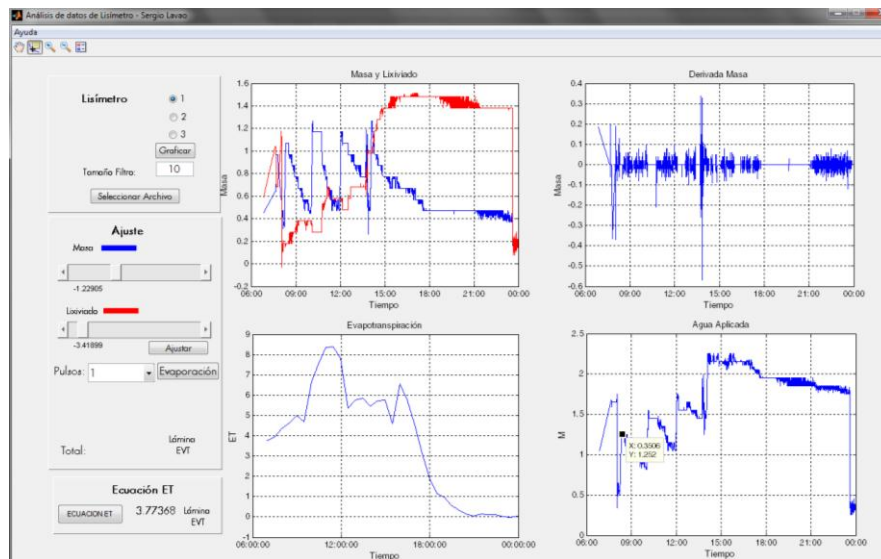


Figura 13. Empleo de data cursor

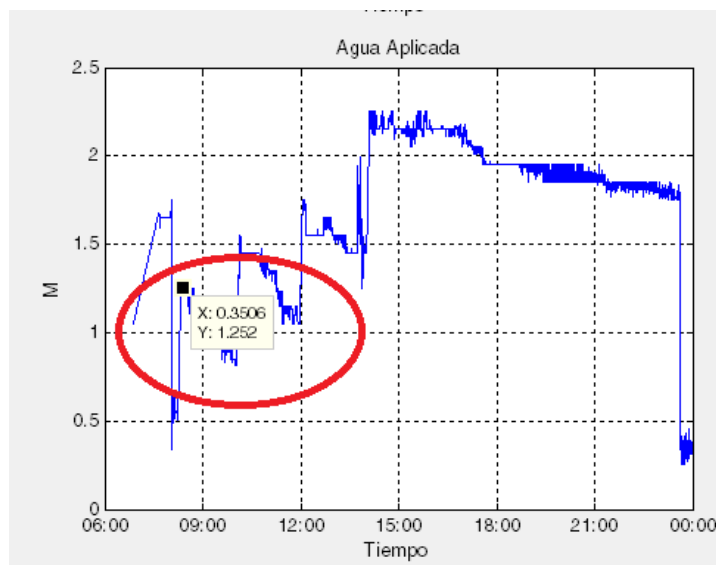


Figura 14. Resultado de un punto obtenido por el data cursor

Se le da click derecho sobre el cuadrado encerrado en el círculo rojo y se selecciona la opción de *Export Cursor Data toWorkspace*

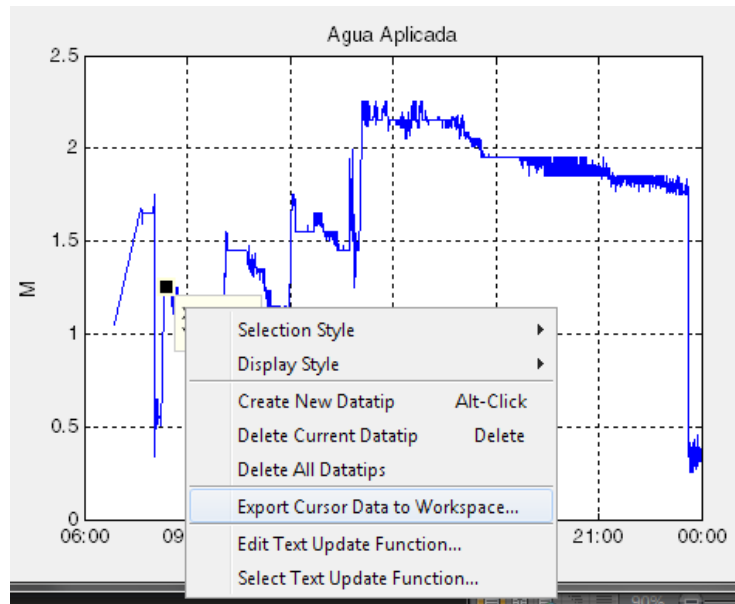


Figura 14. Opciones ofrecidas por el data cursor

Y sale el siguiente campo de texto.

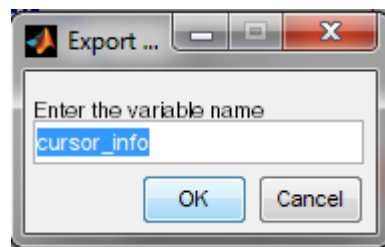


Figura 15. Guardar variable del data cursor con un identificador para un máximo local.

Se cambia el texto por  $p1$  ya que es el primer pico, ahora se hace lo mismo y se selecciona hasta dónde va el primer descenso con el procedimiento anterior pero cambiando el punto a guardar

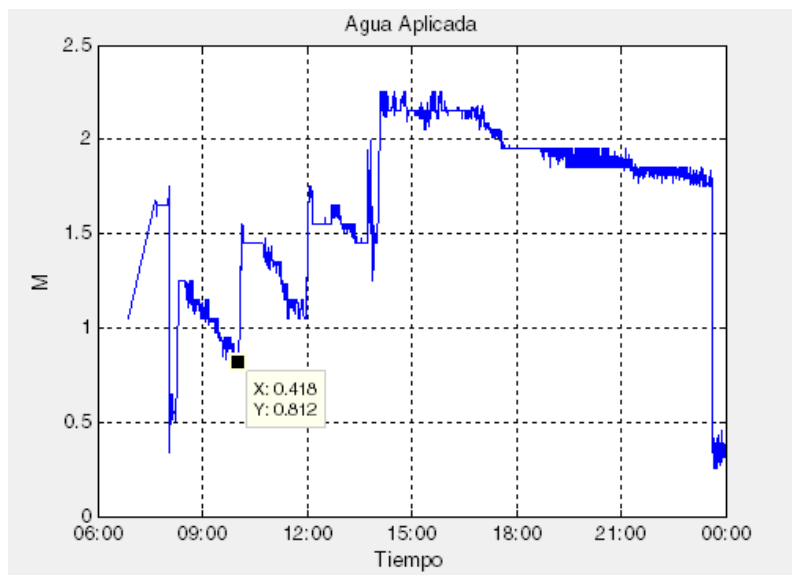


Figura 16. Selección de un valor por data cursor para un mínimo local.

Se selecciona click derecho otra vez y se guarda el dato, pero esta vez se guarda e dato como  $d1$ , porque corresponde al primer descenso, así sucesivamente se guardan todos los puntos, pero para el segundo pico se guarda como  $p2$  y su respectivo descenso se guarda como  $d2$ , este procedimiento se realizara cuantos picos y descensos haya, para el ejemplo se realiza 4 veces.

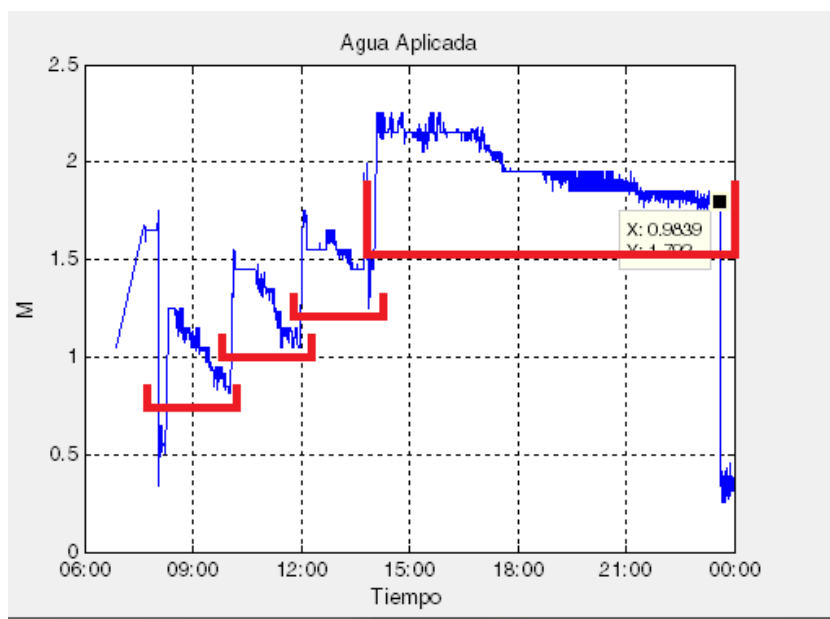


Figura 17. Identificación de los pulsos

Como se guardaron 4 pulsos, entonces del bloque de ajuste en el campo de Pulsos se selecciona 4

The image shows a software interface titled "Ajuste" (Adjustment). It features several input fields and buttons:

- Masa:** A blue progress bar and a slider control with a value of -1.22905.
- Lixiviado:** A red progress bar and a slider control with a value of -3.41899.
- Pulsos:** A dropdown menu currently showing "1", with a list of options from 1 to 8. Option "4" is highlighted in blue.
- Evaporación:** A button located to the right of the "Pulsos" dropdown.
- Ajustar:** A button located below the "Lixiviado" slider.
- Total:** A label positioned to the left of the "Pulsos" dropdown.
- Lámina EVT:** A label positioned to the right of the "Evaporación" button.

Figura 18. Opciones de pulsos para cálculo de ET

Luego de esto, se da click en el botón de Evaporación al lado de pulsos. Con lo cual se obtiene el valor de la evapotranspiración registrado por los lisímetros. A continuación se muestra la siguiente información



## E. Anexo: Mediciones de variable climatológicas

Tabla 6-2: Mediciones registradas para el mes de Agosto de 2013 por la estación meteorológica de Tibaitatá

Día	Evaporación Total (mm)	Humedad Relativa (%)			Velocidad del Viento Media (m/s)
		Media	Mín.	Osc.	
1	5,10	79	47	53	1,6
2	4,30	81	56	41	2,4
3	2,90	80	62	31	2,2
4	0,70	75	49	46	2,3
5	2,88	69	44	47	2,4
6	4,82	77	46	47	1,6
7	2,70	83	61	39	1,9
8	1,34	86	67	30	1,4
9	3,36	91	76	24	1,4
10	3,40	85	62	35	1,8
11	1,00	85	60	37	1,6
12	3,20	83	60	37	1,7
13	1,80	80	49	48	1,6
14	4,94	72	45	48	3,0
15	4,34	72	50	36	2,7
16	5,50	68	47	44	2,2
17	3,22	76	48	45	2,2
18	0,40	88	80	13	1,3
19	4,14	87	71	26	1,8
20	2,34	82	60	37	2,0
21	3,68	77	65	30	2,7
22	2,76	76	50	47	2,1
23	4,08	71	44	45	1,6
24	2,30	80	52	43	1,7
25	2,50	80	56	41	2,3
26	2,22	78	62	29	2,1
27	3,44	79	61	31	2,1
28	4,24	70	54	33	3,0
29	3,78	82	56	44	2,6

<b>30</b>	3,72	77	56	39	3,1
<b>31</b>	4,98	72	53	32	
<b>Suma</b>	<b>100,08</b>	<b>100</b>	<b>44</b>	<b>56</b>	62,5
<b>Media</b>	<b>3,23</b>	<b>79</b>	<b>56</b>	<b>38</b>	2,1

**Tabla 6-3: Mediciones registradas para el mes de Septiembre de 2013 por la estación meteorológica de Tibaitatá**

Día	Evaporación Total (mm)	Humedad Relativa (%)			Velocidad Viento m/s
		Media	Mín.	Osc.	
1	2,24	66	48	35	2,15
2	3,44	82	57	40	1,7
3	0,84	89	73	27	1,5
4	0,82	90	75	25	1,0
5	1,44	82	58	37	1,6
6	3,34	84	60	40	1,8
7	2,12	73	46	51	1,9
8		69	47	42	1,8
9	2,30	76	51	38	1,5
10	4,20	82	55	40	2,0
11	4,20	81	54	41	1,7
12	5,50	73	50	39	1,5
13	4,00	85	59	41	1,3
14	5,00	85	60	40	0,8
15	3,80	77	52	39	2,3
16	3,00	82	60	35	1,8
17	1,40	92	90	4	1,8
18	3,60	82	65	32	2,1
19	2,40	86	76	17	2,7
20	5,00	77	47	48	2,3
21	4,30	79	44	53	1,6
22	3,10	68	39	47	2,5
23	6,10	74	50	39	3,0
24	5,50	78	57	33	2,8
25	3,70	76	52	38	2,7
26	1,80	83	61	34	1,2
27	4,90	78	52	43	2,7
28	4,50	71	42	46	2,1
29	3,24	76	59	32	2,5



<b>30</b>	3,18	73	47	41	2,0
<b>Suma</b>	<b>98,96</b>	100	39	61	58,2
<b>Media</b>	<b>3,41</b>	<b>79</b>	<b>56</b>	<b>37</b>	1,9

**Tabla 6-4: Mediciones registradas para el mes de Octubre de 2013 por la estación meteorológica de Tibaitatá**

Día	Evaporación	Humedad Relativa (%)		Osc.	Velocidad Viento
	Total (mm)	Media	Mín.		m/s
1	0,98	78	49	45	2,04
2	4,00	79	53	42	2,1
3	0,90	77	49	51	2,0
4	3,10	79	60	35	2,1
5	5,02	75	60	35	2,0
6	4,84	68	47	53	2,2
7	1,58	85	77	15	1,8
8	6,04	75	55	42	2,3
9	1,00	73	56	36	1,5
10	3,46	40	12	83	1,6
11	4,22	82	57	40	1,4
12	1,06	87	71	26	1,9
13	0,86	89	82	15	1,5
14	2,88	84	62	33	1,2
15	5,78	83	53	47	1,4
16	2,96	93	84	16	1,4
17	4,68	76	52	45	2,2
18	3,56	79	51	44	1,7
19	6,10	78	39	61	1,5
20	1,90	81	49	49	1,3
21	3,02	79	59	36	2,2
22	2,38	81	59	38	1,9
23	0,70	88	67	33	1,7
24	4,54	82	60	37	2,1
25	4,06	77	52	39	2,2
26	3,20	81	47	53	1,7
27	1,60	81	47	53	1,5
28	3,20	84	56	44	1,7
29	3,66	83	58	38	1,7
30	4,64	82	63	32	2,1

<b>31</b>	1,26	83	68	23	2,7
<b>Suma</b>	<b>95,92</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>88</b>	53,8
<b>Media</b>	<b>3,20</b>	<b>79</b>	<b>56</b>	<b>41</b>	1,8

**Tabla 6-5: Mediciones registradas para el mes de Noviembre de 2013 por la estación meteorológica de Tibaitatá**

Día	Evaporación Total (mm)	Humedad Relativa (%)			Velocidad Viento m/s
		Media	Mín.	Osc.	
1	0,64	74	47	42	2,0
2	3,10	86	57	43	1,8
3	4,46	81	74	13	2,5
4	0,74	88	77	18	1,1
5	3,60	92	82	18	1,6
6	0,76	88	76	20	1,7
7	3,90	86	60	40	1,7
8	6,30	90	79	18	1,5
9	3,80	89	75	22	1,6
10	1,40	89	74	23	1,3
11	2,30	84	63	34	1,7
12	1,00	77	55	38	1,3
13	2,48	81	60	35	1,0
14	2,20	77	44	51	1,9
15	1,34	82	55	40	1,3
16	0,78	82	59	36	1,2
17	4,70	86	61	39	1,7
18	2,30	83	57	40	1,9
19	4,40	80	50	47	1,7
20	1,10	85	68	27	1,6
21	3,90	84	60	37	1,7
22	4,80	77	55	41	1,4
23	2,50	82	55	41	1,6
24	2,70	84	62	35	1,4
25	1,36	91	80	20	1,2
26	4,98	83	54	46	1,8
27	2,98	88	69	31	1,8
28	3,16	88	67	33	1,6
29	1,32	88	72	25	1,4
30	2,90	84	58	40	1,4

<b>Media</b>	<b>2,73</b>	84	64	33	2,7
--------------	-------------	----	----	----	-----

**Tabla 6-6: Mediciones registradas para el mes de Diciembre de 2013 por la estación meteorológica de Tibaitatá**

<b>Día</b>	<b>Evaporación</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>			<b>Velocidad Viento</b>
		<b>Total (mm)</b>	<b>Media</b>	<b>Mín.</b>	
<b>1</b>	1,20	88	73	23	2,0
<b>2</b>	2,36	59	13	83	1,8
<b>3</b>	3,26	85	62	35	2,5
<b>4</b>	0,96	82	57	38	1,1
<b>5</b>	2,26	84	69	26	1,6
<b>6</b>	4,12	79	50	45	1,7
<b>7</b>	2,80	82	56	40	1,7
<b>8</b>	0,90	83	59	36	1,5
<b>9</b>	3,00	82	53	44	1,6
<b>10</b>	1,90	79	54	37	1,3
<b>11</b>	3,70	80	47	50	1,7
<b>12</b>	2,00	85	59	41	1,3
<b>13</b>	2,70	79	49	48	1,0
<b>14</b>	2,80	82	49	51	1,9
<b>15</b>	3,70	80	64	31	1,3
<b>16</b>	1,18	74	45	50	1,2
<b>17</b>	1,28	84	66	28	1,7
<b>18</b>	2,46	87	82	9	1,9
<b>19</b>	5,38	77	60	29	1,7
<b>20</b>	3,36	80	57	43	1,6
<b>21</b>	4,30	83	64	31	1,7
<b>22</b>	2,04	83	68	28	1,4
<b>23</b>	1,30	89	75	25	1,6
<b>24</b>	3,70	89	70	30	1,4
<b>25</b>	4,06	83	62	35	1,2
<b>26</b>	2,88	84	65	30	1,8
<b>27</b>	2,96	78	63	37	1,8
<b>28</b>	4,24	70	52	39	1,6
<b>29</b>	2,80	67	42	53	1,4
<b>30</b>	4,00	68	33	62	1,4
<b>31</b>			0	0	2,7

<b>Máxima</b>	83,6	<b>100</b>	<b>13</b>	<b>87</b>	2,5
<b>Media</b>	<b>2,79</b>	<b>80</b>	<b>57</b>	<b>39</b>	1,8

**Tabla 6-7: Mediciones registradas para el mes de Enero de 2014 por la estación meteorológica de Tibaitatá**

<b>Día</b>	<b>Evaporación</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>			<b>Velocidad Viento</b>
		<b>Total (mm)</b>	<b>Media</b>	<b>Mín.</b>	
<b>1</b>	4,16	72	31	64	2,0
<b>2</b>	3,34	81	61	39	1,9
<b>3</b>	5,54	83	60	40	2,0
<b>4</b>	4,52	86	61	39	2,1
<b>5</b>	2,88	77	44	56	1,4
<b>6</b>	0,70	83	70	21	1,5
<b>7</b>	0,82	85	61	37	1,6
<b>8</b>	2,96	88	78	17	1,6
<b>9</b>	3,32	81	45	55	1,3
<b>10</b>	2,32	77	37	63	1,4
<b>11</b>	5,00	77	39	58	1,6
<b>12</b>	1,50	84	58	39	1,4
<b>13</b>	3,50	86	63	34	1,8
<b>14</b>	4,44	83	61	39	1,4
<b>15</b>	4,34	79	49	46	1,6
<b>16</b>	3,80	78	43	54	1,9
<b>17</b>	2,48	74	45	52	1,7
<b>18</b>	3,60	81	70	19	2,2
<b>19</b>	3,30	73	45	50	1,8
<b>Media</b>	<b>3,29</b>	<b>81</b>	<b>54</b>	<b>43</b>	1,7

## F. Anexo: Resultados métodos de Evapotranspiración aplicados.

El método de Garcia-López se realiza aplicando la Ecuación 6-1

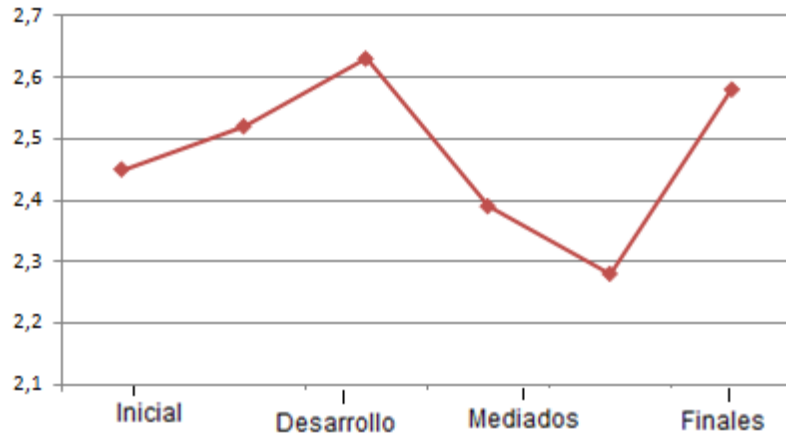
$$EVT = [1.21 * 10^n * (1 - 0.01Hr)] + 0.21T - 2.3$$

$$n = \frac{7.45T}{234.7 + T}$$

La información requerida para aplicar el método de Garcia-López se muestra en la siguiente tabla junto al resultado del método.

Etapa	Fecha	Hr(%)	T(°C)	n	Garcia-López
Inicial	13/08/2013 - 19/10/2013	64,83	16,40	0,487	2,45
Desarrollo	19/10/2013 - 16/11/2013	66,83	16,92	0,501	2,52
Mediados De Temporada	16/11/2013 - 15/01/2014	66,24	17,19	0,508	2,63
Final	15/01/2014 - 14/02/2014	71,18	17,03	0,504	2,39

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de la evapotranspiración calculada por el método de Garcia-López.



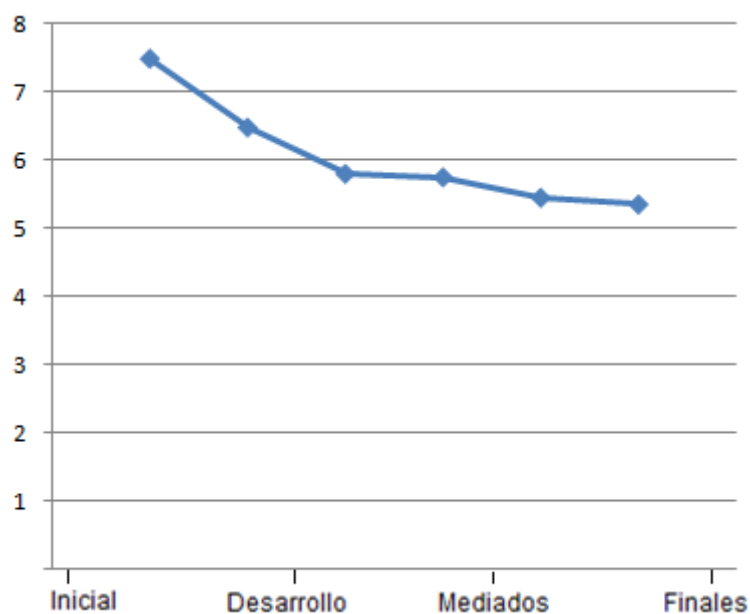
Para calcular por el método de Turc se realiza aplicando la , descrita nuevamente como sigue:

$$ET_o = 0.4 * (R_s + 50) * \left( \frac{T_{med}}{T_{med} + 15} \right)$$

La información requerida para aplicar el método de Turc se muestra en la siguiente tabla junto al resultado del método.

Etapa	Fecha	T(°C)	Rs	Turc
Inicial	13/08/2013 - 19/10/2013	16,40	11,2	7,49
Desarrollo	19/10/2013 - 16/11/2013	16,92	10,5	6,48
Mediados De Temporada	16/11/2013 - 15/01/2014	17,19	13,8	5,5
Final	15/01/2014 - 14/02/2014	17,03	11,5	5,35

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de la evapotranspiración calculada por el método de Turc.



El método de Hargreaves-Samani se realiza aplicando la Ecuación 2.8, descrita como sigue.

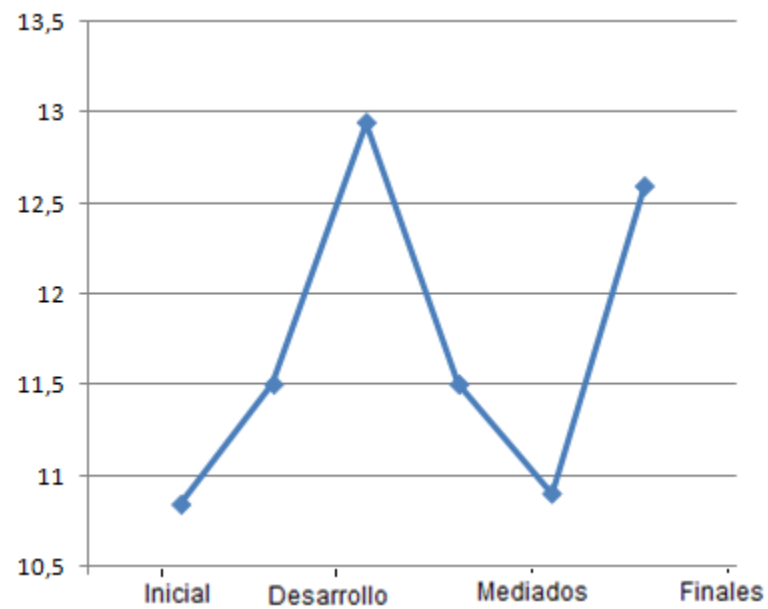
$$ET_o = 0.4 * (R_s + 50) * \left( \frac{T_{med}}{T_{med} + 15} \right)$$

La información requerida para aplicar el método de Hargreaves-Samani se muestra en la siguiente tabla junto al resultado del método.

Etapa	Fecha	T(°C)	Rs	Hargreaves-Samani
Inicial	13/08/2013 - 19/10/2013	16,40	11,2	10,84
Desarrollo	19/10/2013 - 16/11/2013	16,92	10,5	12,94

Mediados De Temporada	16/11/2013 - 15/01/2014	17,19	13,8	10,9
Final	15/01/2014 - 14/02/2014	17,03	11,5	12,59

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de la evapotranspiración calculada por el método de Hargreaves-Samani







## Mediciones de variable climatológicas

Tabla 6-8: Mediciones registradas para el mes de Agosto de en la finca de Marengo.

Día	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Radiación
1	15,1	53	-
2	14,3	41	-
3	12,9	31	-
4	10,7	46	-
5	12,88	47	-
6	14,82	47	-
7	12,7	39	-
8	11,34	30	-
9	13,36	24	-
10	13,4	35	-
11	11	37	-
12	13,2	37	-
13	11,8	48	7,3

<b>Día</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>	<b>Radiación</b>
<b>14</b>	14,94	48	8,53
<b>15</b>	14,34	36	9,21
<b>16</b>	15,5	44	6,21
<b>17</b>	13,22	45	11,54
<b>18</b>	17,4	13	10,28
<b>19</b>	14,14	26	9,49
<b>20</b>	15,34	37	8,18
<b>21</b>	13,68	30	12,73
<b>22</b>	12,76	47	9,97
<b>23</b>	14,08	45	10,13
<b>24</b>	13,3	43	9,24
<b>25</b>	15,5	41	6,91
<b>26</b>	17,22	29	9,67
<b>27</b>	17,44	31	10,99
<b>28</b>	18,24	33	8,62
<b>29</b>	18,78	44	6,58
<b>30</b>	17,72	39	7,34
<b>31</b>	16,98	32	12,22
<b>Media</b>	<b>16,4</b>	<b>38</b>	<b>9,22</b>

**Tabla 6-9: Calculo de coeficiente de cultivo al utilizar la ETo obtenida por los métodos de Garcia-Lopez, Hargreaves, Turc y Penman para Agosto de 2013**

Día	Penman	García López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc Garcia-Lopez	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
1	-	2,475	-	-	4,080	-	-	-	-	-	-
2	-	2,615	-	-	3,440	-	-	-	-	-	-
3	-	2,45	-	-	2,320	-	-	-	-	-	-
4	-	1,327	-	-	0,560	-	-	-	-	-	-
5	-	1,97	-	-	2,304	-	-	-	-	-	-
6	-	2,589	-	-	3,856	-	-	-	-	-	-
7	-	2,148	-	-	2,160	-	-	-	-	-	-
8	-	1,949	-	-	1,072	-	-	-	-	-	-
9	-	2,822	-	-	2,688	-	-	-	-	-	-
10	-	2,5	-	-	2,720	-	-	-	-	-	-
11	-	1,653	-	-	0,800	-	-	-	-	-	-
12	-	2,372	-	-	2,560	-	-	-	-	-	-
13	2,031	1,608	-	-	1,440	-	-	-	-	-	-
14	4,105	2,594	-	-	3,952	-	-	-	-	-	-
15	3,108	2,791	-	-	3,472	-	-	-	-	-	-
16	3,789	2,916	-	-	4,400	-	-	-	-	-	-
17	2,765	2,137	11,53	4,83	2,576	1,65	0,641	0,771	0,341	0,143	0,597
18	1,537	4,794	12,95	4,89	0,320	1,98	6,188	0,413	0,405	0,153	1,288
19	2,462	3,043	11,55	4,09	3,312	1,88	0,568	0,617	0,459	0,163	0,764
20	3,101	3,105	11,77	3,66	1,872	2,27	1,213	0,731	0,620	0,193	0,732

Día	Penman	García López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc Garcia-Lopez	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
21	2,912	2,752	11,97	5,41	2,944	-	-	0	-	-	-
22	2,974	1,933	11,03	4,11	2,208	1,88	0,851	0,972	0,457	0,171	0,632
23	2,018	2,414	11,65	4,36	3,264	2,37	0,726	0,981	0,544	0,204	1,174
24	1,648	2,224	11,14	3,88	1,840	1,91	1,038	0,858	0,492	0,172	1,159
25	2,454	3,021	11,57	3,11	2,000	2,16	1,080	0,714	0,695	0,187	0,880
26	2,182	4,091	12,76	4,57	1,776	2,23	1,256	0,545	0,488	0,175	1,022
27	2,198	4,097	13,12	5,23	2,752	1,71	0,621	0,417	0,327	0,130	0,778
28	3,635	4,324	12,87	4,19	3,392	2,09	0,616	0,483	0,498	0,162	0,575
29	2,424	4,059	12,58	3,25	3,024	-	-	0	-	-	-
30	1,895	3,882	12,42	3,52	2,976	-	-	0	-	-	-
31	3,658	3,884	13,21	5,74	3,984	1,87	0,469	0,481	0,326	0,142	0,511

**Tabla 6-10: Mediciones registradas para el mes de Septiembre de 2013 en la finca de Marengo**

Día	Temperatura	Humedad Relativa (%)	Radiación
1	12,24	66	12,70
2	13,44	82	13,14
3	10,84	89	9,91
4	10,82	90	8,19
5	11,44	82	11,36
6	13,34	84	4,86

<b>Día</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Humedad</b>	<b>Radiación</b>
<b>7</b>	12,12	73	6,13
<b>8</b>	15,04	69	8,78
<b>9</b>	1630	76	10,53
<b>10</b>	14,2	82	9,67
<b>11</b>	14,2	81	11,10
<b>12</b>	15,5	73	9,61
<b>13</b>	14	85	12,06
<b>14</b>	15	85	11,12
<b>15</b>	16,8	77	9,79
<b>16</b>	17	82	10,50
<b>17</b>	17,4	92	11,37
<b>18</b>	16,6	82	4,98
<b>19</b>	17,4	86	8,08
<b>20</b>	15	77	11,68
<b>21</b>	14,3	79	9,78
<b>22</b>	16,1	68	7,09
<b>23</b>	16,1	74	10,97
<b>24</b>	15,5	78	9,83
<b>25</b>	17,7	76	10,64
<b>26</b>	18,8	83	6,50
<b>27</b>	19,9	78	8,84
<b>28</b>	16,5	71	3,90
<b>29</b>	18,24	76	3,22
<b>30</b>	17,18	73	5,27

Día	Temperatura	Humedad	Radiación
Media	16,92	79	9,97

**Tabla 6-11: Calculo de coeficiente de cultivo al utilizar la ETo obtenida por el método de Garcia-Lopez, Turc, Hargreaves y Penman para Septiembre de 2013.**

Día	Penman	Garcí-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evapori-metros	Etc	Kc Tanques Evapori-metros	Kc García Lopez	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
1	2,681779	1,233	9,666	11,441	1,792	2,06	1,150	1,67	0,180	0,213	0,77
2	2,438166	1,074	10,899	10,103	2,752		0,000	0	0,000	0,000	0,00
3	1,706761	0,26	9,569	10,238	0,672	2,14	3,185	8,223	0,209	0,224	1,25
4	1,17605	0,23	9,703	10,655	0,656	2,04	3,110	8,874	0,191	0,210	1,73
5	1,912383	0,586	8,757	11,095	1,152	-	-	0	-	-	-
6	2,31582	0,988	8,37	11,119	2,672	-	-	0	-	-	-
7	2,460234	1,004	9,955	11,639	1,696	2,01	1,185	2,003	0,173	0,202	0,82
8	2,183288	1,912	8,704	12,357	0,000	1,93	-	1,009	0,156	0,222	0,88
9	1,774373	1,419	8,145	11,463	1,840	2,04	1,109	0	0,178	0,250	1,15
10	2,684382	1,262	10,234	11,236	3,360	2,88	0,857	2,283	0,256	0,281	1,07
11	2,23511	1,294	9,728	11,53	3,360	2,07	0,616	1,6	0,180	0,213	0,93
12	1,711397	1,901	9,957	11,236	4,400	2,13	0,484	1,121	0,190	0,214	1,24
13	1,456382	1,117	8,472	10,879	3,200	2,02	0,631	1,809	0,186	0,238	1,39
14	1,148317	1,359	9,816	11,236	4,000	2	0,500	1,472	0,178	0,204	1,74
15	2,04004	2,103	9,623	11,596	3,040	1,96	0,645	0,932	0,169	0,204	0,96
16	1,87737	1,964	9,184	11,048	2,400	2,03	0,846	1,034	0,184	0,221	1,08

Día	Penman	Garcí-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc García Lopez	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
17	1,554857	1,67	10,3	11,328	1,120	2,86	2,554	1,712	0,252	0,278	1,84
18	2,29132	1,862	9,662	11,328	2,880	2,81	0,976	1,509	0,248	0,291	1,23
19	2,759437	1,907	7,914	11,213	1,920	-	-	0	-	-	-
20	3,090607	1,63	8,707	11,142	4,000	-	-	0	-	-	-
21	2,545522	1,384	11,185	10,655	3,440	2,74	0,797	1,98	0,257	0,245	1,08
22	3,286567	2,246	12,698	11,895	2,480	-	-	0	-	-	-
23	3,851679	2,027	9,821	11,874	4,880	-	-	0	-	-	-
24	3,289473	1,725	8,863	11,396	4,400	-	-	0	-	-	-
25	2,64214	2,384	9,821	11,874	2,960	-	-	0	-	-	-
26	1,57695	2,382	9,022	11,768	1,440	2,06	1,431	0,865	0,175	0,228	1,31
27	2,629183	2,896	10,081	11,811	3,920	-	-	0	-	-	-
28	2,554842	2,248	9,999	12,22	3,600	2,09	0,581	0,93	0,171	0,209	0,82
29	2,625751	2,531	8,546	11,552	2,592	-	-	0	-	-	-
30	2,707948	2,36	8,796	12,08	2,544	-	-	0	-	-	-

**Tabla 6-12: Mediciones registradas para el mes de Octubre de 2013 en la finca de Marengo.**

Día	Temperatura (°C)	HumedadRelativa (%)	Radiación
1	10,98	78	10,92
2	14	79	2,31
3	13,9	77	4,40

<b>Día</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>HumedadRelativa (%)</b>	<b>Radiación</b>
<b>4</b>	13,1	79	2,88
<b>5</b>	15,02	75	6,00
<b>6</b>	14,84	68	7,12
<b>7</b>	16,58	85	6,09
<b>8</b>	16,04	75	10,28
<b>9</b>	17	73	9,19
<b>10</b>	13,46	40	8,97
<b>11</b>	14,22	82	8,38
<b>12</b>	16,06	87	8,82
<b>13</b>	16,86	89	8,27
<b>14</b>	17,88	84	10,21
<b>15</b>	15,78	83	10,69
<b>16</b>	16,96	93	9,86
<b>17</b>	17,68	76	8,31
<b>18</b>	17,56	79	12,58
<b>19</b>	16,1	78	17,46
<b>20</b>	17,9	81	15,32
<b>21</b>	18,02	79	15,45
<b>22</b>	16,38	81	14,71
<b>23</b>	17,7	88	15,50
<b>24</b>	14,54	82	18,94
<b>25</b>	14,06	77	17,21
<b>26</b>	17,2	81	18,05



Día	Temperatura (°C)	HumedadRelativa (%)	Radiación
<b>27</b>	16,6	81	19,23
<b>28</b>	16,2	84	20,87
<b>29</b>	15,66	83	19,10
<b>30</b>	14,64	82	23,00
<b>31</b>	16,26	83	15,67
<b>Media</b>	<b>17,2</b>	<b>79</b>	12,12

**Tabla 6-13: Calculo de coeficiente de cultivo al utilizar la ETo obtenida por el método de Garcia-Lopez, Hargreaves, Turc y Penman para Octubre de 2013**

Día	Penman	García-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc García Lopez	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
1	2,404	0,579	10,299	4,243772	0,784	2,13	2,717	3,68	0,502	0,207	0,89
2	2,228	1,307	10,100	0,989997	3,200	2,05	0,641	1,568	2,071	0,203	0,92
3	1,912	1,345	10,465	1,88298	0,720	2,76	3,833	2,052	1,466	0,264	1,44
4	1,717	1,08	9,860	1,201392	2,480	-	-	0	-	-	-
5	3,002	1,703	11,207	2,65842	4,016	-	-	0	-	-	-
6	3,229	1,89	11,3627	3,137357	3,872	2,88	0,744	1,524	0,918	0,253	0,89
7	2,195	1,745	11,77856	2,825036	1,264	2,08	1,646	1,192	0,736	0,177	0,95
8	2,652	1,975	12,4604046	4,697346	4,832	2,14	0,443	1,084	0,456	0,172	0,81
9	1,848	2,311	12,5780966	4,317952	0,800	1,65	2,063	0,714	0,382	0,131	0,89
10	1,863	2,367	11,1554836	3,784692	2,768	2,08	0,751	0,879	0,550	0,186	1,12

Día	Penman	García-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc García Lopez	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
11	1,212	1,266	11,3635655	3,620746	3,376	3,8	1,126	3	1,050	0,334	3,14
12	1,926	1,545	12,1647752	4,030162	0,848	2,73	3,219	1,768	0,677	0,224	1,42
13	1,459	1,661	12,3338992	3,868585	0,688	2,65	3,852	1,596	0,685	0,215	1,82
14	1,011	2,107	13,0962525	4,916799	2,304	3,87	1,680	1,837	0,787	0,296	3,83
15	1,163	1,62	12,4465333	4,848182	4,624	3,18	0,688	1,963	0,656	0,255	2,73
16	1,252	1,531	12,7059555	4,626357	2,368	3,05	1,288	1,993	0,659	0,240	2,44
17	2,309	2,379	12,6177507	3,978954	3,744	-	-	0	-	-	-
18	2,247	2,226	13,5010814	6,007451	2,848	3,81	1,338	1,711	0,634	0,282	1,70
19	2,108	1,882	13,968217	7,988377	4,880	-	-	0	-	-	-
20	1,543	2,234	14,2162062	7,384954	1,520	-	-	0	-	-	-
21	2,350	2,348	14,2878909	7,47267	2,416	2,74	1,134	1,167	0,367	0,192	1,17
22	1,872	1,844	13,5113648	6,788108	1,904	-	-	0	-	-	-
23	1,576	1,901	14,1813238	7,42765	0,560	-	-	0	-	-	-
24	2,209	1,346	13,5726761	8,267649	3,632	-	-	0	-	-	-
25	2,866	1,386	13,006986	7,401732	3,248	-	-	0	-	-	-
26	2,137	2,054	14,5396017	8,528019	2,560	2,66	1,039	1,295	0,312	0,183	1,24
27	1,830	1,9	14,548067	8,93263	1,280	-	-	0	-	-	-
28	2,076	1,688	14,719367	9,579801	2,560	3,89	1,520	2,304	0,406	0,264	1,87
29	1,894	1,59	14,1174951	8,627661	2,928	-	-	0	-	-	-
30	2,330	1,371	14,4232469	10,07389	3,712	-	-	0	-	-	-
31	2,545	1,74	13,6631997	7,204794	1,008	-	-	0	-	-	-

Tabla 6-14: Mediciones registradas para el mes de Noviembre de 2013 en la finca de Marengo

Día	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Radiación
1	17,64	74	19,80
2	16,1	86	17,81
3	14,46	81	16,78
4	15,74	88	9,78
5	16,6	92	9,97
6	15,76	88	9,83
7	15,9	86	15,13
8	14,3	90	19,87
9	13,8	89	8,80
10	11,4	89	7,60
11	12,3	84	3,49
12	11	77	9,92
13	12,48	81	9,73
14	13,2	77	11,38
15	14,34	82	12,28
16	14,78	82	8,28
17	13,7	86	15,38
18	12,3	83	13,71
19	14,4	80	12,65
20	15,1	85	10,90

Día	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Radiación
21	13,9	84	16,97
22	14,8	77	13,29
23	16,5	82	13,50
24	17,7	84	12,32
25	18,36	91	9,22
26	19,98	83	12,89
27	18,98	88	14,65
28	17,16	88	11,50
29	17,32	88	8,78
30	16,9	84	9,78
<b>Media</b>	<b>17,03</b>	84	12,20

**Tabla 6-15: Calculo de coeficiente de cultivo por método de Garcia-Lopez, Hargreaves y Turc para Noviembre**

Día	Penman	García-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
1	2,487	0,579	15,088	9,471	0,512	2,13	4,160	3,68	0,225	0,141	0,86
2	2,013	1,307	14,042	8,152	2,480	2,05	0,827	1,568	0,251	0,146	1,02
3	2,144	1,345	13,112	7,310	3,568	2,76	0,774	2,052	0,378	0,210	1,29
4	0,964	1,08	12,243	4,427	0,592	-	-	0	-	-	-
5	1,108	1,703	12,602	4,631	2,880	-	-	0	-	-	-
6	1,342	1,89	12,261	4,453	0,608	2,88	4,737	1,524	0,647	0,235	2,15

Día	Penman	García-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
7	2,046	1,745	13,406	6,884	3,120	2,08	0,667	1,192	0,302	0,155	1,02
8	1,669	1,975	13,639	8,609	5,040	2,14	0,425	1,084	0,249	0,157	1,28
9	1,539	2,311	11,270	3,754	3,040	1,65	0,543	0,714	0,440	0,146	1,07
10	0,874	2,367	9,949	2,996	1,120	2,08	1,857	0,879	0,694	0,209	2,38
11	1,490	1,266	9,640	1,418	1,840	3,8	2,065	3	2,679	0,394	2,55
12	1,341	1,545	10,140	3,857	0,800	2,73	3,413	1,768	0,708	0,269	2,04
13	0,946	1,661	10,851	3,978	1,984	2,65	1,336	1,596	0,666	0,244	2,80
14	1,874	2,107	11,492	4,762	1,760	3,87	2,199	1,837	0,813	0,337	2,06
15	1,232	1,62	12,176	5,328	1,072	3,18	2,966	1,963	0,597	0,261	2,58
16	1,032	1,531	11,570	3,643	0,624	3,05	4,888	1,993	0,837	0,264	2,95
17	1,935	2,379	12,484	6,541	3,760	-	-	0	-	-	-
18	1,769	2,226	11,482	5,571	1,840	3,81	2,071	1,711	0,684	0,332	2,15
19	1,745	1,882	12,275	5,500	3,520	-	-	0	-	-	-
20	1,435	2,234	12,221	4,841	0,880	-	-	0	-	-	-
21	2,030	2,348	12,885	7,264	3,120	2,74	0,878	1,167	0,377	0,213	1,35
22	1,488	1,844	12,574	5,851	3,840	-	-	0	-	-	-
23	1,999	1,901	13,305	6,252	2,000	-	-	0	-	-	-
24	1,340	1,346	13,493	5,904	2,160	-	-	0	-	-	-
25	0,864	1,386	13,037	4,500	1,088	-	-	0	-	-	-
26	1,911	2,054	14,369	6,575	3,984	2,66	0,668	1,295	0,405	0,185	1,39
27	1,882	1,9	14,445	7,275	2,384	-	-	0	-	-	-
28	1,306	1,688	13,126	5,426	2,528	3,89	1,539	2,304	0,717	0,296	2,98

Día	Penman	García-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
29	1,134	1,59	12,599	4,161	1,056	-	-	0	-	-	-
30	1,035	1,371	12,668	4,582	2,320	-	-	0	-	-	-

**Tabla 6-16: Mediciones registradas para el mes de Diciembre de 2013 en la Finca de Marengo.**

Día	Temperatura °C	Humedad Relativa (%)	Radiación
1	16,2	88	8,88
2	15,36	59	8,18
3	16,26	85	8,27
4	16,96	82	8,35
5	17,26	84	10,20
6	17,12	79	12,35
7	16,8	82	9,34
8	15,9	83	11,34
9	13	82	8,57
10	14,9	79	9,45
11	13,7	80	10,32
12	12	85	7,41
13	12,7	79	7,85
14	15,8	82	9,76
15	16,7	80	10,47

Día	Temperatura °C	Humedad Relativa (%)	Radiación
<b>16</b>	17,18	74	11,16
<b>17</b>	18,28	84	9,77
<b>18</b>	17,46	87	10,13
<b>19</b>	15,38	77	16,22
<b>20</b>	13,36	80	11,53
<b>21</b>	14,3	83	14,79
<b>22</b>	17,04	83	11,77
<b>23</b>	18,3	89	6,20
<b>24</b>	17,7	89	9,12
<b>25</b>	17,06	83	13,59
<b>26</b>	17,88	84	11,42
<b>27</b>	16,96	78	9,92
<b>28</b>	15,24	70	16,34
<b>29</b>	15,8	67	11,72
<b>30</b>	16	68	15,42
<b>Media</b>	<b>16,58</b>	<b>80</b>	10,66

**Tabla 6-17: Calculo de coeficiente de cultivo al utilizar la Eto obtenida por método de Garcia-Lopez, Turc, Hargreaves y Penman para Diciembre**

Día	Penman	García-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc García Lopez	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
1	1,875	1,233	12,314	5,167	0,960	2,06	2,146	1,67	0,399	0,167	1,10
2	0,903	1,074	12,316	5,192	1,888		0,000	0	0,000	0,000	0,00
3	0,969	0,26	12,307	5,211	2,608	2,14	0,821	8,223	0,411	0,174	2,21
4	1,508	0,23	12,308	5,236	0,768	2,04	2,656	8,874	0,390	0,166	1,35
5	1,592	0,586	12,272	5,181	1,808	-	-	0	-	-	-
6	1,991	0,988	12,226	5,067	3,296	-	-	0	-	-	-
7	1,361	1,004	12,258	5,110	2,240	2,01	0,897	2,003	0,393	0,164	1,48
8	1,586	1,912	12,335	5,181	0,720	1,93	2,681	1,009	0,373	0,156	1,22
9	1,534	1,419	12,425	5,306	2,400	2,04	0,850	0	0,384	0,164	1,33
10	2,144	1,262	12,501	5,355	1,520	2,88	1,895	2,283	0,538	0,230	1,34
11	2,090	1,294	12,556	5,400	2,960	2,07	0,699	1,6	0,383	0,165	0,99
12	0,918	1,901	12,591	5,422	1,600	2,13	1,331	1,121	0,393	0,169	2,32
13	1,473	1,117	12,605	5,425	2,160	2,02	0,935	1,809	0,372	0,160	1,37
14	1,672	1,359	12,640	5,484	2,240	2	0,893	1,472	0,365	0,158	1,20
15	1,916	2,103	12,645	5,449	2,960	1,96	0,662	0,932	0,360	0,155	1,02
16	1,748	1,964	12,684	5,445	0,944	2,03	2,150	1,034	0,373	0,160	1,16
17	1,616	1,67	12,697	5,443	1,024	2,86	2,793	1,712	0,525	0,225	1,77
18	1,186	1,862	12,713	5,463	1,968	2,81	1,428	1,509	0,514	0,221	2,37
19	2,923	1,907	12,707	5,403	4,304	-	-	0	-	-	-
20	1,629	1,63	12,712	5,388	2,688	-	-	0	-	-	-



Día	Penman	Garcí-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc García Lopez	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
21	2,298	1,384	12,692	5,359	3,440	2,74	0,797	1,98	0,511	0,216	1,19
22	2,108	2,246	12,665	5,341	1,632	-	-	0	-	-	-
23	1,022	2,027	12,653	5,369	1,040	-	-	0	-	-	-
24	1,084	1,725	12,596	5,329	2,960	-	-	0	-	-	-
25	2,344	2,384	12,534	5,264	3,248	-	-	0	-	-	-
26	1,904	2,382	12,515	5,259	2,304	2,06	0,894	0,865	0,392	0,165	1,08
27	2,356	2,896	12,512	5,295	2,368	-	-	0	-	-	-
28	3,364	2,248	12,507	5,319	3,392	2,09	0,616	0,93	0,393	0,167	0,62
29	2,452	2,531	12,507	5,314	2,240	-	-	0	-	-	-
30	3,583	2,36	12,511	5,314	3,200	-	-	0	-	-	-

**Tabla 6-18: Mediciones registradas para el mes de Enero de 2014 por la finca de Marengo.**

Día	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Radiación
1	14,16	72	15,88
2	15,34	81	16,42
3	15,54	83	12,39
4	14,52	86	10,23
5	16,88	77	14,20
6	16,7	83	6,07

Día	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Radiación
7	17,82	85	7,66
8	17,96	88	10,98
9	16,32	81	13,16
10	17,32	77	12,09
11	18	77	13,88
12	18,5	84	12,01
13	17,5	86	15,07
14	17,44	83	13,90
15	17,34	79	12,23
16	16,8	78	13,13
17	18,48	74	14,21
18	17,6	81	6,224
19	18,3	73	10,105
<b>Media</b>	<b>17,37</b>	<b>81</b>	12,10

Tabla 6-19: Calculo de coeficiente de cultivo al utilizar la Eto obtenida por método de Garcia-Lopez, Hargreaves, Turc y Penman para Enero de 2014

Día	Penman	García-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc García López	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
1	1,583	0,579	12,538	5,330	3,328	2,13	0,640	3,68	0,400	0,170	1,35

Día	Penman	García-López	Hargreaves	Turc	Tanques Evaporímetros	Etc	Kc Tanques Evaporímetros	Kc García López	Kc Turc	Kc Hargreaves	Kc Penman
2	1,725	1,307	12,546	5,333	2,672	2,05	0,767	1,568	0,384	0,163	1,19
3	1,308	1,345	12,555	5,338	4,432	2,76	0,623	2,052	0,517	0,220	2,11
4	0,969	1,08	12,566	5,347	3,616	-	-	0	-	-	-
5	1,848	1,703	12,576	5,355	2,304	-	-	0	-	-	-
6	0,393	1,89	12,584	5,360	0,560	2,88	5,143	1,524	0,537	0,229	7,33
7	0,618	1,745	12,589	5,362	0,656	2,08	3,171	1,192	0,388	0,165	3,37
8	0,840	1,975	12,592	5,362	2,368	2,14	0,904	1,084	0,399	0,170	2,55
9	1,257	2,311	12,593	5,361	2,656	1,65	0,621	0,714	0,308	0,131	1,31
10	0,933	2,367	12,594	5,359	1,856	2,08	1,121	0,879	0,388	0,165	2,23
11	1,117	1,266	12,593	5,357	4,000	3,8	0,950	3	0,709	0,302	3,40
12	1,049	1,545	12,592	5,353	1,200	2,73	2,275	1,768	0,510	0,217	2,60
13	1,352	1,661	12,590	5,350	2,800	2,65	0,946	1,596	0,495	0,210	1,96
14	1,679	2,107	12,587	5,346	3,552	3,87	1,090	1,837	0,724	0,307	2,31
15	1,351	1,62	12,583	5,343	3,472	3,18	0,916	1,963	0,595	0,253	2,35
16	1,471	1,531	12,579	5,339	3,040	3,05	1,003	1,993	0,571	0,242	2,07
17	1,538	2,379	12,574	5,337	1,984	-	-	0	-	-	-
18	0,808	2,226	12,570	5,335	2,880	3,81	1,323	1,711	0,714	0,303	4,72
19	1,268	1,882	12,566	5,335	2,640	-	-	0	-	-	-

## G. Anexo: Registro Volumétricos de Consumo en Agua.

Tabla 6-20: Registro Volumétricos de Consumo en Agua

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2013	SEPTIEMBRE	19/09/2013	236.1	75.0	161.1	32%	145.0	38.5	106.5	27%	145.0	54.0	91.0	37%	145.0	43.5	101.5	30%
2013	SEPTIEMBRE	20/09/2013	215.0	81.5	133.5	38%	150.0	42.0	108.0	28%	160.0	62.0	98.0	39%	145.0	52.5	92.5	36%
2013	SEPTIEMBRE	21/09/2013	225.0	73.7	151.3	33%	150.0	49.7	100.3	33%	155.0	65.5	89.5	42%	150.0	57.0	93.0	38%
2013	SEPTIEMBRE	22/09/2013	226.5	66.8	159.7	29%	152.0	46.0	106.0	30%	150.0	52.9	97.1	35%	140.0	41.2	98.8	29%
2013	SEPTIEMBRE	23/09/2013	210.0	65.0	145.0	31%	150.0	44.0	106.0	29%	155.0	60.5	94.5	39%	155.0	49.5	105.5	32%
2013	SEPTIEMBRE	24/09/2013	175.0	83.1	91.9	47%	120.0	55.7	64.3	46%	125.0	68.5	56.5	55%	120.0	67.5	52.5	56%
2013	SEPTIEMBRE	25/09/2013	220.0	77.3	142.7	35%	160.0	51.0	109.0	32%	155.0	57.5	97.5	37%	150.0	62.5	87.5	42%
2013	SEPTIEMBRE	26/09/2013	230.0	82.0	148.0	36%	125.0	45.0	80.0	36%	90.0	24.5	65.5	27%	150.0	46.0	104.0	31%
2013	SEPTIEMBRE	27/09/2013	195.0	88.2	106.8	45%	120.0	52.7	67.3	44%	116.7	40.0	76.7	34%	118.3	34.8	83.5	29%
2013	SEPTIEMBRE	28/09/2013	235.0	79.0	156.0	34%	150.0	52.0	98.0	35%	151.3	51.3	100.0	34%	153.6	43.1	110.5	28%
2013	SEPTIEMBRE	29/09/2013	258.5	93.2	165.3	36%	156.0	62.7	93.3	40%	144.4	55.3	89.1	38%	155.7	56.0	99.7	36%
2013	SEPTIEMBRE	30/09/2013	227.5	93.5	134.0	41%	150.0	70.0	80.0	47%	116.7	44.5	72.2	38%	120.8	52.0	68.8	43%
2013	OCTUBRE	01/10/2013	228.6	75.2	153.4	33%	162.0	44.0	118.0	27%	116.0	28.0	88.0	24%	143.0	45.1	97.9	32%
2013	OCTUBRE	02/10/2013	220.0	74.5	145.5	34%	150.0	46.5	103.5	31%	140.0	45.3	94.7	32%	140.0	58.0	82.0	41%
2013	OCTUBRE	03/10/2013	220.0	95.0	125.0	43%	150.0	52.0	98.0	35%	145.0	51.5	93.5	36%	150.0	58.5	91.5	39%
2013	OCTUBRE	04/10/2013	220.0	101.5	118.5	46%	150.0	44.0	106.0	29%	145.0	48.5	96.5	33%	160.0	43.0	117.0	27%
2013	OCTUBRE	05/10/2013	226.5	107.3	119.3	47%	151.0	35.0	116.0	23%	147.0	38.3	108.7	26%	143.0	32.0	111.0	22%
2013	OCTUBRE	06/10/2013	218.7	74.2	144.5	34%	146.0	29.1	116.9	20%	172.0	30.0	142.0	17%	140.0	20.9	119.1	15%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2013	OCTUBRE	07/10/2013	225.0	94.0	131.0	42%	155.0	54.0	101.0	35%	150.0	45.0	105.0	30%	150.0	49.5	100.5	33%
2013	OCTUBRE	08/10/2013	225.0	84.8	140.2	38%	155.0	48.5	106.5	31%	156.0	43.0	113.0	28%	144.0	34.3	109.7	24%
2013	OCTUBRE	09/10/2013	186.8	67.0	119.8	36%	118.0	30.0	88.0	25%	122.0	31.5	90.5	26%	116.0	32.0	84.0	28%
2013	OCTUBRE	10/10/2013	180.0	57.5	122.5	32%	120.0	27.0	93.0	23%	120.0	28.5	91.5	24%	115.0	32.0	83.0	28%
2013	OCTUBRE	11/10/2013	185.0	62.5	122.5	34%	120.0	34.5	85.5	29%	120.0	29.5	90.5	25%	120.0	40.8	79.2	34%
2013	OCTUBRE	12/10/2013	190.8	73.2	117.6	38%	114.0	31.6	82.4	28%	113.0	32.8	80.2	29%	137.0	56.8	80.2	41%
2013	OCTUBRE	13/10/2013	180.0	67.5	112.5	38%	120.0	41.5	78.5	35%	120.0	35.0	85.0	29%	115.0	41.0	74.0	36%
2013	OCTUBRE	14/10/2013	180.0	75.0	105.0	42%	120.0	50.5	69.5	42%	120.0	42.1	78.0	35%	120.0	42.0	78.0	35%
2013	OCTUBRE	15/10/2013	184.8	69.2	115.6	37%	102.0	44.0	58.0	43%	108.0	45.9	62.1	43%	97.0	39.0	58.0	40%
2013	OCTUBRE	16/10/2013	180.0	60.5	119.5	34%	115.0	35.5	79.5	31%	110.0	35.5	74.5	32%	135.0	69.0	66.0	51%
2013	OCTUBRE	17/10/2013	175.0	58.0	117.0	33%	110.0	35.5	74.5	32%	114.0	29.5	84.5	26%	90.0	34.5	55.5	38%
2013	OCTUBRE	18/10/2013	187.0	45.3	141.7	24%	122.0	22.8	99.2	19%	109.0	20.0	89.0	18%	102.0	29.6	72.4	29%
2013	OCTUBRE	19/10/2013	149.8	48.0	101.8	32%	126.0	28.5	97.5	23%	118.0	25.0	93.0	21%	90.0	24.0	66.0	27%
2013	OCTUBRE	20/10/2013	172.5	52.4	120.1	30%	116.0	28.2	87.8	24%	110.0	19.7	90.3	18%	100.0	27.3	72.7	27%
2013	OCTUBRE	21/10/2013	185.0	43.0	142.0	23%	120.0	16.5	103.5	14%	105.0	21.5	83.5	20%	120.0	37.0	83.0	31%
2013	OCTUBRE	22/10/2013	175.0	42.7	132.3	24%	106.0	19.8	86.2	19%	108.0	22.9	85.1	21%	99.0	18.5	80.5	19%
2013	OCTUBRE	23/10/2013	180.0	56.0	124.0	31%	120.0	30.0	90.0	25%	120.0	33.5	86.5	28%	95.0	34.0	61.0	36%
2013	OCTUBRE	24/10/2013	190.0	54.0	136.0	28%	120.0	19.5	100.5	16%	115.0	30.5	84.5	27%	120.0	43.0	77.0	36%
2013	OCTUBRE	25/10/2013	225.0	50.5	174.5	22%	150.0	23.5	126.5	16%	150.0	34.5	115.5	23%	155.0	51.0	104.0	33%
2013	OCTUBRE	26/10/2013	215.0	30.0	185.0	14%	160.0	14.7	145.3	9%	165.0	22.0	143.0	13%	159.0	42.8	116.2	27%
2013	OCTUBRE	27/10/2013	195.0	57.0	138.0	29%	150.0	22.5	127.5	15%	150.0	30.0	120.0	20%	150.0	46.0	104.0	31%
2013	OCTUBRE	28/10/2013	225.0	55.5	169.5	25%	150.0	20.5	129.5	14%	133.0	32.5	100.5	24%	150.0	56.0	94.0	37%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2013	OCTUBRE	29/10/2013	229.8	43.2	186.6	19%	148.0	18.7	129.3	13%	150.0	29.0	121.0	19%	150.0	45.9	104.1	31%
2013	OCTUBRE	30/10/2013	225.0	65.3	159.7	29%	150.0	25.8	124.2	17%	150.0	32.1	117.9	21%	150.0	60.3	89.7	40%
2013	OCTUBRE	31/10/2013	225.0	68.5	156.5	30%	150.0	29.5	120.5	20%	150.0	39.0	111.0	26%	160.0	67.0	93.0	42%
2013	NOVIEMBRE	01/11/2013	222.0	44.0	178.0	20%	154.0	25.5	128.5	17%	140.0	33.3	106.7	24%	166.0	55.6	110.4	33%
2013	NOVIEMBRE	02/11/2013	225.0	40.6	184.4	18%	150.0	21.3	128.7	14%	140.0	18.5	121.5	13%	150.0	55.5	94.5	37%
2013	NOVIEMBRE	03/11/2013	154.8	40.4	114.4	26%	93.0	15.6	77.4	17%	133.0	38.3	94.7	29%	125.0	37.5	87.5	30%
2013	NOVIEMBRE	04/11/2013	152.7	39.4	113.3	26%	98.0	16.4	81.6	17%	116.0	34.8	81.2	30%	108.0	38.8	69.2	36%
2013	NOVIEMBRE	05/11/2013	219.9	75.5	144.4	34%	148.0	32.2	115.8	22%	145.0	43.5	101.5	30%	158.0	60.0	98.0	38%
2013	NOVIEMBRE	06/11/2013	60.0	4.0	56.0	7%	40.0	10.0	30.0	25%	40.0	10.5	29.5	26%	40.0	12.0	28.0	30%
2013	NOVIEMBRE	25/11/2013	174.4	83.3	91.1	48%	113.2	30.7	82.5	27%	115.0	32.5	82.5	28%	122.0	63.5	58.5	52%
2013	NOVIEMBRE	26/11/2013	174.4	65.7	108.7	38%	113.2	24.0	89.2	21%	115.0	32.9	82.1	29%	122.0	52.4	69.6	43%
2013	NOVIEMBRE	27/11/2013	174.4	30.5	143.9	17%	113.2	9.5	103.7	8%	115.0	12.9	102.1	11%	122.0	30.5	91.5	25%
2013	NOVIEMBRE	28/11/2013	174.4	53.0	121.4	30%	113.2	20.0	93.2	18%	115.0	14.3	100.7	12%	122.0	37.5	84.5	31%
2013	NOVIEMBRE	29/11/2013	183.1	71.0	112.1	39%	118.9	22.5	96.4	19%	120.8	28.7	92.1	24%	128.1	54.3	73.8	42%
2013	NOVIEMBRE	30/11/2013	174.4	77.3	97.1	44%	113.2	33.0	80.2	29%	115.0	40.8	74.2	35%	122.0	51.5	70.5	42%
2013	DICIEMBRE	01/12/2013	348.7	167.6	181.1	48%	226.4	71.6	154.8	32%	230.1	85.2	144.9	37%	244.0	112.8	131.2	46%
2013	DICIEMBRE	02/12/2013	348.7	139.6	209.1	40%	226.4	44.0	182.4	19%	230.1	59.0	171.1	26%	244.0	99.4	144.6	41%
2013	DICIEMBRE	03/12/2013	174.4	81.0	93.4	46%	113.2	33.8	79.4	30%	115.0	42.7	72.3	37%	122.0	41.8	80.2	34%
2013	DICIEMBRE	04/12/2013	174.4	68.8	105.6	39%	113.2	37.8	75.4	33%	115.0	41.3	73.7	36%	122.0	46.0	76.0	38%
2013	DICIEMBRE	05/12/2013	174.4	26.1	148.3	15%	113.2	16.0	97.2	14%	115.0	16.0	99.0	14%	122.0	29.5	92.5	24%
2013	DICIEMBRE	06/12/2013	174.4	16.3	158.1	9%	113.2	6.5	106.7	6%	115.0	13.6	101.4	12%	122.0	22.2	99.8	18%
2013	DICIEMBRE	07/12/2013	174.4	55.0	119.4	32%	113.2	26.0	87.2	23%	115.0	28.5	86.5	25%	122.0	45.8	76.2	38%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2013	DICIEMBRE	08/12/2013	174.4	51.5	122.9	30%	113.2	22.1	91.1	20%	115.0	33.9	81.1	29%	122.0	34.9	87.1	29%
2013	DICIEMBRE	09/12/2013	174.4	52.5	121.9	30%	113.2	15.0	98.2	13%	115.0	30.6	84.4	27%	122.0	43.8	78.2	36%
2013	DICIEMBRE	10/12/2013	174.4	59.0	115.4	34%	113.2	22.5	90.7	20%	115.0	37.0	78.0	32%	122.0	22.0	100.0	18%
2013	DICIEMBRE	11/12/2013	174.4	25.3	149.1	15%	113.2	13.0	100.2	11%	115.0	17.6	97.4	15%	122.0	33.8	88.2	28%
2013	DICIEMBRE	12/12/2013	174.4	61.5	112.9	35%	113.2	42.5	70.7	38%	115.0	53.0	62.0	46%	122.0	61.0	61.0	50%
2013	DICIEMBRE	13/12/2013	174.4	62.1	112.2	36%	113.2	41.5	71.7	37%	115.0	33.6	81.4	29%	122.0	47.6	74.4	39%
2013	DICIEMBRE	14/12/2013	174.4	48.4	126.0	28%	113.2	29.6	83.6	26%	115.0	39.1	75.9	34%	122.0	36.1	85.9	30%
2013	DICIEMBRE	15/12/2013	174.4	27.3	147.0	16%	113.2	17.1	96.1	15%	115.0	27.3	87.8	24%	122.0	32.5	89.5	27%
2013	DICIEMBRE	16/12/2013	174.4	26.4	147.9	15%	113.2	16.3	96.9	14%	115.0	19.5	95.5	17%	122.0	26.2	95.8	21%
2013	DICIEMBRE	17/12/2013	174.4	39.2	135.2	22%	113.2	16.1	97.1	14%	115.0	24.7	90.3	21%	122.0	39.0	83.0	32%
2013	DICIEMBRE	18/12/2013	174.4	55.7	118.7	32%	113.2	24.2	89.0	21%	115.0	28.8	86.3	25%	122.0	37.8	84.3	31%
2013	DICIEMBRE	19/12/2013	174.4	22.7	151.6	13%	113.2	11.1	102.1	10%	115.0	14.0	101.0	12%	122.0	21.8	100.2	18%
2013	DICIEMBRE	20/12/2013	174.4	18.9	155.5	11%	113.2	8.8	104.4	8%	115.0	20.2	94.8	18%	122.0	27.9	94.2	23%
2013	DICIEMBRE	21/12/2013	218.0	36.3	181.6	17%	141.5	13.4	128.1	9%	143.8	27.8	116.1	19%	152.5	27.3	125.2	18%
2013	DICIEMBRE	22/12/2013	174.4	22.5	151.9	13%	113.2	6.8	106.4	6%	115.0	20.8	94.2	18%	122.0	23.8	98.2	20%
2013	DICIEMBRE	23/12/2013	174.4	80.6	93.7	46%	113.2	33.3	79.9	29%	115.0	44.6	70.5	39%	122.0	54.1	67.9	44%
2013	DICIEMBRE	24/12/2013	174.4	72.0	102.3	41%	113.2	35.2	78.0	31%	115.0	43.7	71.3	38%	122.0	56.3	65.7	46%
2013	DICIEMBRE	25/12/2013	218.0	55.2	162.7	25%	141.5	21.6	119.9	15%	143.8	28.0	115.8	19%	152.5	41.3	111.2	27%
2013	DICIEMBRE	26/12/2013	218.0	52.0	165.9	24%	141.5	21.0	120.5	15%	143.8	41.3	102.5	29%	152.5	38.4	114.1	25%
2013	DICIEMBRE	27/12/2013	174.4	44.3	130.0	25%	113.2	14.7	98.5	13%	115.0	27.0	88.0	23%	122.0	23.3	98.7	19%
2013	DICIEMBRE	28/12/2013	218.0	16.6	201.3	8%	141.5	7.7	133.8	5%	143.8	16.6	127.2	12%	152.5	19.8	132.7	13%
2013	DICIEMBRE	29/12/2013	218.0	30.1	187.9	14%	141.5	12.8	128.7	9%	143.8	13.0	130.8	9%	152.5	8.2	144.3	5%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2013	DICIEMBRE	30/12/2013	477.2	151.6	325.7	32%	192.0	18.9	173.1	10%	151.1	24.8	126.3	16%	186.9	16.4	170.5	9%
2013	DICIEMBRE	31/12/2013	258.6	79.0	179.6	31%	141.5	31.7	109.8	22%	143.8	52.1	91.7	36%	152.5	27.8	124.7	18%
2014	ENERO	01/01/2014	360.0	53.7	306.3	15%	169.8	19.7	150.1	12%	172.6	34.3	138.2	20%	183.0	21.1	161.9	12%
2014	ENERO	02/01/2014	427.8	113.5	314.3	27%	141.5	10.0	131.5	7%	143.7	12.8	130.8	9%	152.5	20.7	131.8	14%
2014	ENERO	03/01/2014	289.5	87.0	202.5	30%	141.5	9.1	132.4	6%	143.9	27.4	116.5	19%	152.5	33.7	118.8	22%
2014	ENERO	04/01/2014	222.2	62.0	160.2	28%	141.5	36.7	104.8	26%	143.8	52.1	91.8	36%	152.5	40.9	111.7	27%
2014	ENERO	05/01/2014	216.8	38.9	177.9	18%	141.5	18.8	122.7	13%	143.8	24.5	119.3	17%	152.5	27.4	125.1	18%
2014	ENERO	06/01/2014	178.6	75.7	102.9	42%	113.2	26.2	87.0	23%	115.0	52.5	62.5	46%	122.0	52.5	69.5	43%
2014	ENERO	07/01/2014	135.5	52.1	83.4	38%	113.2	33.1	80.1	29%	115.0	60.5	54.6	53%	122.0	53.5	68.5	44%
2014	ENERO	08/01/2014	208.2	66.6	141.6	32%	141.5	47.0	94.5	33%	143.8	54.9	88.9	38%	152.5	54.1	98.4	35%
2014	ENERO	09/01/2014	231.8	71.4	160.4	31%	199.9	57.9	142.0	29%	93.1	24.6	68.5	26%	161.1	59.0	102.1	37%
2014	ENERO	10/01/2014	279.3	84.5	194.8	30%	191.8	64.7	127.1	34%	232.3	95.0	137.3	41%	233.7	77.0	156.7	33%
2014	ENERO	11/01/2014	291.0	100.4	190.6	35%	209.1	56.7	152.4	27%	161.0	37.4	123.6	23%	180.6	72.4	108.2	40%
2014	ENERO	12/01/2014	213.3	67.9	145.4	32%	194.6	79.5	115.1	41%	144.5	69.5	75.0	48%	321.8	98.7	223.1	31%
2014	ENERO	13/01/2014	353.1	148.6	204.5	42%	245.1	83.5	161.6	34%	189.9	42.1	147.8	22%	178.4	44.4	133.9	25%
2014	ENERO	14/01/2014	297.9	107.6	190.3	36%	269.7	99.8	169.9	37%	238.4	90.2	148.2	38%	256.1	112.5	143.6	44%
2014	ENERO	15/01/2014	238.3	59.0	179.3	25%	208.8	50.4	158.4	24%	154.2	46.0	108.2	30%	182.2	60.8	121.4	33%
2014	ENERO	16/01/2014	262.2	88.4	173.8	34%	256.4	78.3	178.1	31%	232.1	63.8	168.3	27%	203.9	48.6	155.3	24%
2014	ENERO	17/01/2014	174.4	93.5	80.9	54%	278.8	90.7	188.1	33%	318.2	99.9	218.3	31%	283.1	94.0	189.1	33%
2014	ENERO	18/01/2014	174.4	80.4	94.0	46%	151.0	46.1	104.9	31%	110.7	47.7	63.0	43%	111.3	33.2	78.1	30%
2014	ENERO	19/01/2014	174.4	53.1	121.3	30%	166.1	51.0	115.1	31%	157.1	50.5	106.6	32%	165.7	58.0	107.7	35%
2014	ENERO	20/01/2014	183.6	36.4	147.2	20%	210.4	63.9	146.5	30%	226.6	55.8	170.8	25%	248.2	61.6	186.6	25%



AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2014	ENERO	21/01/2014	209.3	92.5	116.8	44%	160.8	58.0	102.8	36%	113.7	52.3	61.4	46%	107.2	31.8	75.4	30%
2014	ENERO	22/01/2014	174.4	34.8	139.6	20%	186.7	55.0	131.7	29%	164.8	44.7	120.1	27%	177.3	49.7	127.6	28%
2014	ENERO	23/01/2014	174.4	58.1	116.3	33%	174.0	33.9	140.1	19%	149.0	47.1	101.9	32%	166.2	31.3	134.9	19%
2014	ENERO	24/01/2014	279.6	97.4	182.2	35%	225.8	68.7	157.1	30%	193.0	52.1	140.9	27%	209.0	43.7	165.3	21%
2014	ENERO	25/01/2014	279.6	64.3	215.3	23%	251.2	65.7	185.5	26%	258.6	78.8	179.8	30%	257.3	64.4	192.9	25%
2014	ENERO	26/01/2014	270.1	111.7	158.4	41%	160.0	65.3	94.7	41%	113.3	44.7	68.6	39%	133.4	23.2	110.2	17%
2014	ENERO	27/01/2014	189.7	70.1	119.6	37%	140.0	41.4	98.6	30%	153.3	49.2	104.1	32%	153.3	38.2	115.1	25%
2014	ENERO	28/01/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	ENERO	29/01/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	ENERO	30/01/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	ENERO	31/01/2014	253.0	100.5	152.5	40%	153.3	44.5	108.8	29%	113.3	33.1	80.2	29%	180.0	53.3	126.7	30%
2014	FEBRERO	01/02/2014	33.3	13.5	19.9	40%	126.5	33.4	93.2	26%	106.6	29.0	77.6	27%	126.5	29.1	97.4	23%
2014	FEBRERO	02/02/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	FEBRERO	03/02/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	FEBRERO	04/02/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	FEBRERO	05/02/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	FEBRERO	06/02/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	FEBRERO	07/02/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	FEBRERO	08/02/2014	-	-	-	-	79.9	24.7	55.2	31%	86.6	33.9	52.7	39%	86.6	25.9	60.7	30%
2014	FEBRERO	09/02/2014	-	-	-	-	173.2	53.5	119.7	31%	179.8	43.1	136.7	24%	186.5	55.1	131.4	30%
2014	FEBRERO	10/02/2014	-	-	-	-	133.2	35.3	97.9	27%	133.2	40.4	92.8	30%	146.5	32.2	114.3	22%
2014	FEBRERO	11/02/2014	-	-	-	-	126.5	37.7	88.8	30%	99.9	19.1	80.8	19%	106.6	21.9	84.6	21%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2014	FEBRERO	12/02/2014	-	-	-	-	106.6	29.6	77.0	28%	119.9	29.6	90.3	25%	166.5	66.6	99.9	40%
2014	FEBRERO	13/02/2014	228.8	182.3	46.5	80%	146.5	35.7	110.8	24%	119.9	17.3	102.6	14%	99.9	20.6	79.3	21%
2014	FEBRERO	14/02/2014	126.0	49.2	76.8	39%	126.5	26.0	100.5	21%	139.9	30.0	109.9	21%	146.5	27.9	118.6	19%
2014	FEBRERO	15/02/2014	159.8	108.1	51.8	68%	246.4	59.1	187.3	24%	246.4	84.5	162.0	34%	246.4	98.7	147.7	40%
2014	FEBRERO	16/02/2014	159.8	134.1	25.7	84%	179.8	50.0	129.8	28%	126.5	21.2	105.4	17%	113.2	30.7	82.5	27%
2014	FEBRERO	17/02/2014	133.2	27.5	105.8	21%	173.2	34.0	139.1	20%	166.5	39.3	127.2	24%	146.5	41.0	105.5	28%
2014	FEBRERO	18/02/2014	106.6	96.5	10.1	91%	106.6	23.8	82.7	22%	86.6	23.7	62.9	27%	86.6	21.4	65.1	25%
2014	FEBRERO	19/02/2014	79.9	52.4	27.6	66%	113.2	24.0	89.2	21%	106.6	26.3	80.3	25%	106.6	21.9	84.6	21%
2014	FEBRERO	20/02/2014	106.6	35.5	71.1	33%	119.9	18.8	101.0	16%	113.2	22.1	91.1	20%	119.9	21.1	98.8	18%
2014	FEBRERO	21/02/2014	79.9	53.7	26.2	67%	93.2	21.6	71.6	23%	79.9	20.4	59.6	25%	86.6	20.3	66.3	23%
2014	FEBRERO	22/02/2014	79.9	69.8	10.1	87%	173.2	51.2	121.9	30%	153.2	59.7	93.5	39%	139.9	60.0	79.9	43%
2014	FEBRERO	23/02/2014	79.9	26.8	53.2	33%	79.9	11.9	68.0	15%	66.6	13.2	53.4	20%	73.3	11.6	61.6	16%
2014	FEBRERO	24/02/2014	79.9	61.4	18.5	77%	166.5	56.9	109.6	34%	139.9	39.0	100.9	28%	153.2	51.5	101.7	34%
2014	FEBRERO	25/02/2014	79.9	94.7	-	119%	106.6	41.3	65.3	39%	79.9	38.8	41.2	48%	86.6	43.7	42.9	50%
2014	FEBRERO	26/02/2014	53.3	31.2	22.0	59%	86.6	22.1	64.4	26%	79.9	24.4	55.6	30%	73.3	17.3	55.9	24%
2014	FEBRERO	27/02/2014	40.0	35.8	4.2	89%	40.0	14.9	25.1	37%	40.0	21.5	18.5	54%	59.9	38.7	21.2	65%
2014	FEBRERO	28/02/2014	53.3	47.6	5.7	89%	53.3	18.9	34.4	35%	53.3	19.0	34.3	36%	53.3	18.7	34.5	35%
2014	MARZO	01/03/2014	59.9	41.0	19.0	68%	59.9	15.7	44.2	26%	40.0	13.7	26.3	34%	59.9	19.2	40.8	32%
2014	MARZO	02/03/2014	119.9	51.3	68.5	43%	113.2	28.3	84.9	25%	113.2	31.1	82.1	27%	113.2	33.9	79.3	30%
2014	MARZO	03/03/2014	144.0	27.5	116.5	19%	96.0	24.0	72.0	25%	96.0	20.3	75.7	21%	96.0	21.2	74.8	22%
2014	MARZO	04/03/2014	129.0	16.1	112.9	13%	86.0	21.2	64.8	25%	86.0	17.2	68.8	20%	86.0	20.2	65.8	23%
2014	MARZO	05/03/2014	199.8	62.4	137.4	31%	113.2	31.5	81.7	28%	119.9	34.7	85.2	29%	119.9	35.2	84.7	29%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2014	MARZO	06/03/2014	89.9	40.7	49.2	45%	79.9	15.2	64.7	19%	66.6	14.9	51.7	22%	66.6	13.1	53.5	20%
2014	MARZO	07/03/2014	99.9	38.6	61.3	39%	79.9	20.8	59.1	26%	79.9	22.3	57.6	28%	73.3	17.8	55.4	24%
2014	MARZO	08/03/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	MARZO	09/03/2014	109.9	46.0	63.9	42%	159.8	25.2	134.7	16%	159.8	18.9	141.0	12%	186.5	40.0	146.4	21%
2014	MARZO	10/03/2014	179.8	49.8	130.0	28%	106.6	20.4	86.2	19%	106.6	18.8	87.7	18%	79.9	20.5	59.5	26%
2014	MARZO	11/03/2014	159.8	62.1	97.7	39%	99.9	19.7	80.3	20%	86.6	19.8	66.7	23%	93.2	20.6	72.7	22%
2014	MARZO	12/03/2014	159.8	35.3	124.5	22%	119.9	27.2	92.7	23%	119.9	29.3	90.6	24%	119.9	27.4	92.5	23%
2014	MARZO	13/03/2014	174.9	64.3	110.6	37%	103.3	26.2	77.0	25%	103.3	30.7	72.6	30%	96.6	27.4	69.2	28%
2014	MARZO	14/03/2014	199.8	45.8	154.0	23%	119.9	30.5	89.4	25%	119.9	29.0	90.9	24%	106.6	25.7	80.9	24%
2014	MARZO	15/03/2014	119.9	65.2	54.7	54%	86.6	34.1	52.5	39%	86.6	33.8	52.7	39%	93.2	29.7	63.5	32%
2014	MARZO	16/03/2014	119.9	35.3	84.6	29%	66.6	11.4	55.2	17%	66.6	11.7	55.0	17%	66.6	13.0	53.6	20%
2014	MARZO	17/03/2014	179.8	30.8	149.1	17%	133.2	23.2	110.0	17%	133.2	22.4	110.8	17%	146.5	19.7	126.9	13%
2014	MARZO	18/03/2014	269.7	53.0	216.7	20%	133.2	33.2	100.1	25%	113.2	31.5	81.7	28%	119.9	27.4	92.5	23%
2014	MARZO	19/03/2014	102.0	54.0	48.0	53%	74.6	26.4	48.3	35%	68.0	22.0	45.9	32%	74.6	23.8	50.9	32%
2014	MARZO	20/03/2014	204.8	88.2	116.7	43%	96.6	11.3	85.3	12%	96.6	17.6	79.0	18%	109.9	21.3	88.6	19%
2014	MARZO	21/03/2014	179.8	51.2	128.6	28%	119.9	26.4	93.5	22%	139.9	39.8	100.1	28%	139.9	28.8	111.1	21%
2014	MARZO	22/03/2014	199.8	63.5	136.3	32%	113.2	20.6	92.7	18%	93.2	20.0	73.3	21%	119.9	22.0	97.9	18%
2014	MARZO	23/03/2014	219.8	74.0	145.8	34%	119.9	37.1	82.8	31%	99.9	35.0	64.9	35%	126.5	35.2	91.4	28%
2014	MARZO	24/03/2014	105.0	49.3	55.7	47%	70.0	34.9	35.1	50%	70.0	24.8	45.2	35%	70.0	37.0	33.0	53%
2014	MARZO	25/03/2014	149.9	23.3	126.6	16%	99.9	41.4	58.5	41%	99.9	32.8	67.1	33%	99.9	19.0	80.9	19%
2014	MARZO	26/03/2014	139.9	63.1	76.7	45%	86.6	24.0	62.6	28%	66.6	30.3	36.3	46%	119.9	30.2	89.7	25%
2014	MARZO	27/03/2014	179.8	62.7	117.1	35%	99.9	12.5	87.5	12%	99.9	16.8	83.1	17%	99.9	11.6	88.3	12%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2014	MARZO	28/03/2014	139.9	63.1	76.7	45%	86.6	24.0	62.6	28%	66.6	30.3	36.3	46%	119.9	30.2	89.7	25%
2014	MARZO	29/03/2014	139.9	63.1	76.7	45%	86.6	24.0	62.6	28%	66.6	30.3	36.3	46%	119.9	30.2	89.7	25%
2014	MARZO	30/03/2014	139.9	63.1	76.7	45%	86.6	24.0	62.6	28%	66.6	30.3	36.3	46%	119.9	30.2	89.7	25%
2014	MARZO	31/03/2014	139.9	63.1	76.7	45%	86.6	24.0	62.6	28%	66.6	30.3	36.3	46%	119.9	30.2	89.7	25%
2014	ABRIL	01/04/2014	179.8	45.3	134.5	25%	86.6	16.1	70.5	19%	53.3	21.7	31.6	41%	59.9	36.9	23.0	62%
2014	ABRIL	02/04/2014	229.8	67.9	161.9	30%	106.6	34.6	71.9	32%	113.2	34.3	78.9	30%	146.5	29.2	117.3	20%
2014	ABRIL	03/04/2014	189.8	73.3	116.5	39%	113.2	28.2	85.1	25%	93.3	17.8	75.4	19%	99.9	19.4	80.5	19%
2014	ABRIL	04/04/2014	229.8	84.4	145.3	37%	99.9	25.9	74.0	26%	86.6	17.9	68.6	21%	106.6	22.9	83.7	21%
2014	ABRIL	05/04/2014	169.8	51.1	118.7	30%	106.6	28.3	78.2	27%	93.2	22.5	70.7	24%	93.2	19.7	73.5	21%
2014	ABRIL	06/04/2014	149.9	67.9	82.0	45%	79.9	20.9	59.0	26%	86.6	31.9	54.7	37%	93.2	30.3	63.0	32%
2014	ABRIL	07/04/2014	269.7	86.4	183.4	32%	159.8	47.8	112.1	30%	139.9	49.4	90.5	35%	159.8	41.8	118.0	26%
2014	ABRIL	08/04/2014	169.8	47.4	122.4	28%	113.2	41.3	71.9	36%	73.3	60.3	13.0	82%	113.2	36.3	76.9	32%
2014	ABRIL	09/04/2014	259.7	58.1	201.7	22%	86.6	11.8	74.8	14%	106.6	17.9	88.7	17%	126.5	15.3	111.2	12%
2014	ABRIL	10/04/2014	219.8	80.2	139.6	36%	126.5	36.3	90.3	29%	99.9	29.0	70.9	29%	126.5	38.4	88.1	30%
2014	ABRIL	11/04/2014	299.8	124.6	175.2	42%	193.2	73.7	119.5	38%	173.2	70.3	103.0	41%	186.5	67.6	119.0	36%
2014	ABRIL	12/04/2014	189.8	71.4	118.4	38%	119.9	33.0	86.8	28%	79.9	19.7	60.2	25%	106.6	25.6	81.0	24%
2014	ABRIL	13/04/2014	259.7	71.0	188.7	27%	166.5	40.3	126.2	24%	139.9	32.0	107.9	23%	173.2	38.5	134.7	22%
2014	ABRIL	14/04/2014	279.7	82.2	197.5	29%	139.9	42.1	97.8	30%	126.5	31.4	95.2	25%	139.9	28.4	111.5	20%
2014	ABRIL	15/04/2014	179.8	83.1	96.7	46%	53.3	33.1	20.2	62%	66.6	29.9	36.7	45%	106.6	44.9	61.6	42%
2014	ABRIL	16/04/2014	115.1	29.0	86.2	25%	48.0	11.6	36.4	24%	46.9	7.9	39.0	17%	48.2	5.8	42.5	12%
2014	ABRIL	17/04/2014	184.6	76.7	107.9	42%	36.0	27.6	8.3	77%	51.5	22.3	29.2	43%	90.9	28.5	62.4	31%
2014	ABRIL	18/04/2014	211.0	75.1	135.8	36%	83.9	41.0	42.9	49%	114.6	50.4	64.1	44%	115.2	34.0	81.2	30%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2014	ABRIL	19/04/2014	140.7	31.3	109.3	22%	42.0	19.6	22.4	47%	91.6	32.3	59.3	35%	121.2	40.1	81.1	33%
2014	ABRIL	20/04/2014	219.8	58.1	161.7	26%	53.9	10.4	43.6	19%	45.8	6.0	39.8	13%	109.1	19.2	89.9	18%
2014	ABRIL	21/04/2014	228.6	114.0	114.5	50%	89.9	35.3	54.6	39%	126.0	44.0	82.0	35%	115.2	43.7	71.4	38%
2014	ABRIL	22/04/2014	158.2	82.5	75.8	52%	53.9	23.5	30.5	44%	51.5	17.7	33.9	34%	72.7	26.6	46.1	37%
2014	ABRIL	23/04/2014	175.8	78.3	97.5	45%	131.9	42.1	89.8	32%	97.4	36.7	60.7	38%	97.0	33.1	63.9	34%
2014	ABRIL	24/04/2014	123.1	57.6	65.4	47%	48.0	17.6	30.4	37%	57.3	21.9	35.4	38%	54.5	11.6	43.0	21%
2014	ABRIL	25/04/2014	272.5	86.6	185.9	32%	101.9	23.0	78.9	23%	91.6	31.3	60.3	34%	97.0	19.6	77.4	20%
2014	ABRIL	26/04/2014	149.5	59.6	89.8	40%	92.9	18.8	74.1	20%	83.1	21.7	61.3	26%	103.0	22.1	80.9	21%
2014	ABRIL	27/04/2014	123.1	43.0	80.1	35%	83.9	28.6	55.3	34%	97.4	41.0	56.4	42%	78.8	36.8	42.0	47%
2014	ABRIL	28/04/2014	298.9	85.6	213.3	29%	185.8	47.8	138.1	26%	154.6	43.7	111.0	28%	175.8	41.5	134.2	24%
2014	ABRIL	29/04/2014	254.9	92.6	162.3	36%	125.9	33.2	92.7	26%	103.1	30.5	72.6	30%	145.5	40.0	105.4	28%
2014	ABRIL	30/04/2014	228.6	104.3	124.3	46%	83.9	25.1	58.8	30%	85.9	24.5	61.4	29%	109.1	30.3	78.8	28%
2014	MAYO	01/05/2014	193.4	77.7	115.7	40%	119.9	41.5	78.3	35%	108.8	55.4	53.4	51%	121.2	55.0	66.3	45%
2014	MAYO	02/05/2014	167.0	60.9	106.1	36%	83.9	25.4	58.5	30%	91.6	24.1	67.5	26%	84.8	19.0	65.9	22%
2014	MAYO	03/05/2014	202.2	62.8	139.4	31%	131.9	27.7	104.1	21%	108.8	22.7	86.1	21%	121.2	24.4	96.8	20%
2014	MAYO	04/05/2014	228.6	67.0	161.6	29%	107.9	24.3	83.6	23%	91.6	16.4	75.2	18%	115.2	19.3	95.9	17%
2014	MAYO	05/05/2014	237.4	76.6	160.7	32%	131.9	28.9	103.0	22%	131.7	32.7	99.1	25%	145.5	32.6	112.9	22%
2014	MAYO	06/05/2014	237.4	88.7	148.7	37%	95.9	22.6	73.3	24%	91.6	21.9	69.8	24%	109.1	20.7	88.4	19%
2014	MAYO	07/05/2014	202.2	77.0	125.2	38%	119.9	42.6	77.3	36%	108.8	36.9	71.9	34%	139.4	43.0	96.4	31%
2014	MAYO	08/05/2014	211.0	83.1	127.9	39%	95.9	26.4	69.5	27%	85.9	23.2	62.8	27%	103.0	27.3	75.8	26%
2014	MAYO	09/05/2014	158.2	44.2	114.1	28%	77.9	13.4	64.5	17%	68.7	11.1	57.6	16%	72.7	12.9	59.9	18%
2014	MAYO	10/05/2014	193.4	69.4	124.0	36%	101.9	24.1	77.8	24%	97.4	23.0	74.4	24%	115.2	27.9	87.3	24%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2014	MAYO	11/05/2014	140.7	75.5	65.2	54%	89.9	23.5	66.4	26%	85.9	26.7	59.2	31%	90.9	21.4	69.5	24%
2014	MAYO	12/05/2014	228.6	82.2	146.4	36%	107.9	29.0	78.9	27%	108.8	38.5	70.3	35%	121.2	31.4	89.8	26%
2014	MAYO	13/05/2014	219.8	75.0	144.8	34%	113.9	26.0	87.9	23%	108.8	25.6	83.2	24%	127.3	21.2	106.1	17%
2014	MAYO	14/05/2014	211.0	78.7	132.3	37%	113.9	32.2	81.7	28%	91.6	30.4	61.3	33%	121.2	31.2	90.0	26%
2014	MAYO	15/05/2014	254.9	99.6	155.3	39%	131.9	38.2	93.7	29%	114.6	35.5	79.1	31%	133.3	32.8	100.5	25%
2014	MAYO	16/05/2014	105.5	66.5	39.0	63%	59.9	19.5	40.4	33%	57.3	21.7	35.6	38%	78.8	30.2	48.6	38%
2014	MAYO	17/05/2014	114.3	42.6	71.7	37%	77.9	23.3	54.7	30%	68.7	24.7	44.0	36%	78.8	25.9	52.9	33%
2014	MAYO	18/05/2014	158.2	34.3	124.0	22%	83.9	58.4	25.5	70%	57.3	64.0	-	112%	78.8	56.1	22.7	71%
2014	MAYO	19/05/2014	202.2	72.6	129.6	36%	125.9	37.0	88.9	29%	103.1	30.2	72.9	29%	127.3	30.5	96.8	24%
2014	MAYO	20/05/2014	219.8	60.7	159.1	28%	119.9	25.4	94.5	21%	80.2	19.3	60.9	24%	145.5	26.2	119.3	18%
2014	MAYO	21/05/2014	254.9	91.9	163.1	36%	137.9	36.4	101.5	26%	131.7	40.4	91.4	31%	139.4	32.3	107.1	23%
2014	MAYO	22/05/2014	228.6	46.6	182.0	20%	125.9	16.1	109.8	13%	103.1	8.7	94.4	8%	133.3	13.8	119.5	10%
2014	MAYO	23/05/2014	232.2	84.6	147.6	36%	127.9	28.4	99.5	22%	117.4	34.0	83.4	29%	129.1	30.5	98.6	24%
2014	MAYO	24/05/2014	254.9	62.4	192.5	24%	143.9	19.8	124.1	14%	114.6	13.4	101.1	12%	157.6	16.5	141.1	10%
2014	MAYO	25/05/2014	281.3	90.3	191.1	32%	161.8	39.3	122.6	24%	143.2	34.7	108.5	24%	169.7	38.4	131.3	23%
2014	MAYO	26/05/2014	228.6	75.3	153.3	33%	137.9	35.2	102.7	26%	108.8	31.1	77.7	29%	139.4	32.0	107.4	23%
2014	MAYO	27/05/2014	193.4	91.0	102.4	47%	101.9	32.8	69.1	32%	91.6	46.0	45.7	50%	109.1	37.5	71.6	34%
2014	MAYO	28/05/2014	167.0	66.0	101.0	40%	89.9	22.2	67.7	25%	80.2	22.0	58.2	27%	97.0	18.6	78.3	19%
2014	MAYO	29/05/2014	70.3	21.7	48.6	31%	65.9	12.5	53.4	19%	63.0	16.5	46.5	26%	60.6	14.9	45.8	25%
2014	MAYO	30/05/2014	212.0	67.1	145.0	32%	119.9	35.3	84.6	29%	93.0	26.8	66.2	29%	120.9	34.4	86.5	28%
2014	MAYO	31/05/2014	57.5	22.8	34.8	40%	48.6	13.2	35.4	27%	42.0	11.6	30.3	28%	32.0	9.1	22.9	28%
2014	JUNIO	01/06/2014	172.6	53.5	119.1	31%	107.0	31.4	75.6	29%	88.6	39.2	49.3	44%	107.9	36.6	71.3	34%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2014	JUNIO	02/06/2014	102.3	46.9	55.4	46%	63.2	26.9	36.3	43%	55.9	29.9	26.0	53%	51.9	20.3	31.6	39%
2014	JUNIO	03/06/2014	127.9	56.2	71.7	44%	82.7	20.4	62.3	25%	83.9	32.7	51.2	39%	71.9	20.9	51.0	29%
2014	JUNIO	04/06/2014	108.7	34.2	74.5	31%	82.7	17.0	65.6	21%	69.9	19.4	50.5	28%	55.9	9.5	46.4	17%
2014	JUNIO	05/06/2014	102.3	36.8	65.5	36%	63.2	16.0	47.2	25%	55.9	12.0	43.9	21%	55.9	11.9	44.1	21%
2014	JUNIO	06/06/2014	147.3	58.8	88.5	40%	98.1	23.2	74.8	24%	85.9	27.9	58.0	33%	85.9	19.4	66.6	23%
2014	JUNIO	07/06/2014	76.7	38.0	38.8	49%	48.6	17.1	31.5	35%	42.0	18.4	23.5	44%	36.0	12.5	23.5	35%
2014	JUNIO	08/06/2014	6.4	21.3	-	333%	4.9	20.0	-	410%	18.6	17.8	0.9	95%	8.0	12.7	-	159%
2014	JUNIO	09/06/2014	121.5	12.6	108.9	10%	68.1	5.4	62.7	8%	65.3	6.1	59.2	9%	55.9	2.8	53.1	5%
2014	JUNIO	10/06/2014	115.1	42.9	72.2	37%	72.9	13.8	59.2	19%	55.9	14.9	41.0	27%	55.9	13.5	42.5	24%
2014	JUNIO	11/06/2014	159.8	33.7	126.1	21%	116.7	17.6	99.1	15%	111.9	21.5	90.4	19%	99.9	13.2	86.8	13%
2014	JUNIO	12/06/2014	166.5	43.0	123.5	26%	98.1	12.6	85.4	13%	90.6	18.1	72.5	20%	89.9	9.6	80.3	11%
2014	JUNIO	13/06/2014	140.7	52.2	88.5	37%	87.5	20.6	66.9	24%	74.6	18.4	56.2	25%	83.9	17.7	66.3	21%
2014	JUNIO	14/06/2014	89.5	39.5	50.0	44%	53.5	14.9	38.5	28%	42.0	15.0	26.9	36%	44.0	13.0	31.0	29%
2014	JUNIO	15/06/2014	191.8	61.8	130.0	32%	116.7	15.9	100.8	14%	111.9	22.1	89.8	20%	107.9	22.4	85.5	21%
2014	JUNIO	16/06/2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	JUNIO	17/06/2014	127.9	53.2	74.6	42%	82.7	18.3	64.4	22%	69.9	15.5	54.5	22%	75.9	15.0	60.9	20%
2014	JUNIO	18/06/2014	121.5	49.6	71.9	41%	82.7	21.9	60.7	27%	74.6	29.3	45.3	39%	67.9	20.0	48.0	29%
2014	JUNIO	19/06/2014	153.4	46.0	107.4	30%	102.1	16.7	85.4	16%	88.6	14.5	74.1	16%	83.9	12.2	71.7	15%
2014	JUNIO	20/06/2014	127.9	41.6	86.3	33%	92.4	21.7	70.7	23%	79.3	21.7	57.6	27%	75.9	18.1	57.8	24%
2014	JUNIO	21/06/2014	121.5	88.1	33.4	72%	68.1	22.5	45.6	33%	55.9	19.1	36.9	34%	59.9	24.1	35.9	40%
2014	JUNIO	22/06/2014	83.1	75.3	7.8	91%	68.1	16.9	51.2	25%	88.6	27.0	61.6	30%	59.9	14.2	45.7	24%
2014	JUNIO	23/06/2014	115.1	36.5	78.6	32%	68.1	14.2	53.9	21%	51.3	15.7	35.6	31%	48.0	9.9	38.1	21%

AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2014	JUNIO	24/06/2014	134.3	42.0	92.3	31%	53.5	12.2	41.3	23%	83.9	22.9	61.0	27%	75.9	18.6	57.3	25%
2014	JUNIO	25/06/2014	108.7	59.9	48.8	55%	87.5	17.5	70.1	20%	69.9	35.4	34.6	51%	55.9	25.7	30.2	46%
2014	JUNIO	26/06/2014	83.1	48.0	35.1	58%	58.3	22.7	35.7	39%	51.3	24.8	26.5	48%	44.0	15.7	28.2	36%
2014	JUNIO	27/06/2014	153.4	48.8	104.6	32%	92.4	16.0	76.4	17%	69.9	21.1	48.8	30%	71.9	11.5	60.5	16%
2014	JUNIO	28/06/2014	95.9	34.3	61.6	36%	72.9	18.6	54.3	25%	74.6	25.3	49.3	34%	59.9	16.6	43.3	28%
2014	JUNIO	29/06/2014	127.9	63.9	64.0	50%	72.9	29.1	43.8	40%	65.3	30.8	34.5	47%	55.9	20.6	35.4	37%
2014	JUNIO	30/06/2014	76.7	40.9	35.9	53%	82.7	24.5	58.1	30%	69.9	26.9	43.1	38%	63.9	16.9	47.1	26%
2014	JULIO	01/07/2014	127.9	88.2	39.7	69%	77.8	17.6	60.1	23%	65.3	14.6	50.7	22%	59.9	11.9	48.1	20%
2014	JULIO	02/07/2014	57.5	31.9	25.6	56%	72.9	15.8	57.1	22%	55.9	18.7	37.3	33%	51.9	10.4	41.6	20%
2014	JULIO	03/07/2014	179.3	39.4	139.9	22%	107.8	13.5	94.3	13%	99.9	11.0	88.9	11%	101.9	11.0	90.9	11%
2014	JULIO	04/07/2014	153.4	63.4	90.0	41%	87.5	22.6	64.9	26%	69.9	21.6	48.4	31%	71.9	16.3	55.7	23%
2014	JULIO	05/07/2014	83.1	26.0	57.1	31%	53.5	11.8	41.7	22%	42.0	16.0	26.0	38%	44.0	9.0	35.0	20%
2014	JULIO	06/07/2014	185.4	119.5	65.9	64%	131.3	47.0	84.2	36%	107.2	35.4	71.9	33%	99.9	32.7	67.2	33%
2014	JULIO	07/07/2014	83.1	48.1	35.0	58%	68.1	17.3	50.8	25%	51.3	16.0	35.3	31%	55.9	11.6	44.4	21%
2014	JULIO	08/07/2014	83.1	36.0	47.1	43%	43.8	5.5	38.3	12%	37.3	5.5	31.8	15%	32.0	2.6	29.4	8%
2014	JULIO	09/07/2014	115.1	51.1	64.0	44%	68.1	11.5	56.6	17%	74.6	18.0	56.6	24%	63.9	5.5	58.4	9%
2014	JULIO	10/07/2014	153.4	89.7	63.7	58%	87.5	10.6	76.9	12%	65.3	11.4	53.9	17%	71.9	6.1	65.8	8%
2014	JULIO	11/07/2014	96.1	63.8	32.3	66%	98.1	26.7	71.3	27%	85.9	20.4	65.5	24%	81.9	15.1	66.9	18%
2014	JULIO	12/07/2014	134.3	33.9	100.4	25%	82.7	12.0	70.7	14%	65.3	7.6	57.7	12%	67.9	8.8	59.2	13%
2014	JULIO	13/07/2014	153.4	49.0	104.5	32%	107.0	20.5	86.5	19%	83.9	12.4	71.5	15%	87.9	18.0	70.0	20%
2014	JULIO	14/07/2014	147.1	82.1	65.0	56%	116.7	23.1	93.6	20%	83.9	14.4	69.6	17%	95.9	17.7	78.2	18%
2014	JULIO	15/07/2014	108.7	49.7	59.0	46%	77.8	18.4	59.4	24%	51.3	7.1	44.2	14%	63.9	13.2	50.7	21%



AÑO	MES	FECHA	VÁLVULA 1				VÁLVULA 4				VÁLVULA 5				VÁLVULA 6			
			Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje	Volumen de Riego (litros)	Volumen de Drenaje (litros)	Consumo (litros)	% Drenaje
2014	JULIO	16/07/2014	140.7	57.8	82.9	41%	97.2	23.9	73.4	25%	74.6	21.3	53.3	29%	79.9	18.5	61.5	23%
2014	JULIO	17/07/2014	147.1	69.5	77.5	47%	107.0	25.4	81.6	24%	83.9	18.4	65.6	22%	87.9	19.3	68.7	22%
2014	JULIO	18/07/2014	121.7	29.8	91.9	24%	83.5	11.1	72.4	13%	76.6	12.7	63.9	17%	74.0	9.1	64.8	12%
2014	JULIO	19/07/2014	153.4	47.0	106.4	31%	111.8	15.9	95.9	14%	83.9	7.5	76.4	9%	107.9	16.8	91.1	16%
2014	JULIO	20/07/2014	153.4	93.8	59.6	61%	107.0	39.0	67.9	36%	83.9	14.4	69.6	17%	87.9	27.9	60.0	32%
2014	JULIO	21/07/2014	159.8	57.3	102.6	36%	116.7	25.1	91.6	21%	65.3	6.3	58.9	10%	95.9	17.6	78.3	18%
2014	JULIO	22/07/2014	102.3	43.6	58.7	43%	82.7	20.5	62.1	25%	65.3	12.5	52.8	19%	67.9	11.1	56.8	16%
2014	JULIO	23/07/2014	89.5	50.3	39.2	56%	92.4	26.2	66.2	28%	79.3	17.9	61.4	23%	79.9	17.1	62.9	21%
2014	JULIO	24/07/2014	89.5	11.7	77.8	13%	68.1	12.3	55.7	18%	69.9	20.3	49.7	29%	55.9	13.0	43.0	23%
2014	JULIO	25/07/2014	204.6	73.4	131.2	36%	126.4	8.0	118.4	6%	139.9	45.2	94.6	32%	131.9	21.3	110.6	16%
2014	JULIO	26/07/2014	134.3	68.4	65.9	51%	97.2	25.5	71.8	26%	83.9	32.9	51.1	39%	75.9	24.3	51.6	32%
2014	JULIO	27/07/2014	102.3	46.0	56.3	45%	58.3	15.1	43.2	26%	46.6	18.8	27.9	40%	51.9	11.5	40.4	22%
2014	JULIO	28/07/2014	159.8	62.8	97.1	39%	121.5	18.9	102.6	16%	116.6	22.4	94.2	19%	99.9	14.3	85.6	14%
2014	JULIO	29/07/2014	108.7	51.4	57.3	47%	82.7	29.7	52.9	36%	79.3	40.0	39.3	50%	79.9	14.0	65.9	18%

## H. Anexo: Datos de Producción Total de Tallos Florales de Miniclavel cv Rony durante el Ensayo Semicomercial Ubicado en el CAM

Tabla 6-21: Producción total de tallos florales de miniclavel cv. Rony en el ensayo semicomercial ubicado en el CAM.

ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL			
BOMBA	TOTAL	NACIONAL	EXPORTACIÓN	BOMBA	TOTAL	NACIONAL	EXPORTACIÓN	BOMBA	TOTAL	NACIONAL	EXPORTACIÓN	BOMBA	TOTAL	NACIONAL	EXPORTACIÓN
1	4309	1174	3135	1	3803	283	3520	1	541	81	460	1	600	78	522
4	3030	825	2205	4	2057	560	1497	4	379	57	322	4	309	40	269
5	3059	833	2226	5	2061	153	1908	5	328	49	279	5	257	33	224
6	2903	791	2112	6	2284	170	2114	6	257	33	224	6	280	36	244
	13301	3622	9679		10205	1166	9039		1505	221	1284		1446	188	1258
%		27.23	72.77	%		11.43	88.57	%		14.66	85.34	%		13.00	87.00

MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO			
BOMBA	TOTAL	NACIONAL	EXPORTACIÓN	BOMBA	TOTAL	NACIONAL	EXPORTACIÓN	BOMBA	TOTAL	NACIONAL	EXPORTACIÓN	BOMBA	TOTAL	NACIONAL	EXPORTACIÓN
1	844	68	776	1	1475	44	1431	1	3289	165	3124	1	867	55	812
4	415	25	390	4	791	21	770	4	1966	82	1884	4	504	40	464
5	342	18	324	5	732	13	719	5	1876	60	1816	5	464	31	433
6	367	22	345	6	651	29	622	6	1946	88	1858	6	656	64	592
	1968	133	1835		3649	107	3542		9077	395	8682		2491	190	2301
%		6.76	93.24			2.93	97.07			4.35	95.65			7.63	92.37